

PAŃSTWOWA KOMISJA BADANIA WYPADKÓW LOTNICZYCH



RAPORT KOŃCOWY

Incydent

Zdarzenie nr: 1652/14

Statek powietrzny: samolot An-2 SP-FYM

6 września 2014 r. - Radawiec (EPLR) woj. lubelskie

Niniejszy raport jest dokumentem prezentującym stanowisko Państwowej Komisji Badania Wypadków Lotniczych dotyczące okoliczności zdarzenia lotniczego, jego przyczyn i zaleceń dotyczących bezpieczeństwa. Raport jest wynikiem badania przeprowadzonego jedynie w celach profilaktycznych w oparciu o obowiązujące przepisy prawa międzynarodowego i krajowego. Badanie zostało przeprowadzone bez konieczności stosowania prawnej procedury dowodowej. Sformułowania zawarte w niniejszym raporcie, w związku przepisami Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 996/2010 w sprawie badania wypadków i incydentów w lotnictwie cywilnym oraz zapobiegania im oraz uchylające dyrektywę 94/56/WE (Dz. U. UE. L. 2010, nr 295, poz. 35) nie mogą być traktowane jako wskazanie winnych lub odpowiedzialnych za zaistniałe zdarzenie. Komisja nie orzeka co do winy i odpowiedzialności. W związku z powyższym wszelkie formy wykorzystania treści niniejszego raportu do celów innych niż zapobieganie wypadkom i poważnym incydentom lotniczym, może prowadzić do błędnych wniosków i interpretacji. Raport niniejszy został sporządzony w języku polskim. Inne wersje językowe mogą być przygotowywane jedynie w celach informacyjnych.

Warszawa 2015

SPIS TREŚCI

INFORMACJE OGÓLNE.....	3
STRESZCZENIE	3
1. INFORMACJE FAKTYCZNE.	4
1.1. Historia lotu.	4
1.2. Obrażenia osób.	5
1.3. Uszkodzenia statku powietrznego	5
1.4. Inne uszkodzenia.	6
1.5. Informacje o składzie osobowym (dane o załodze).	6
1.6. Informacje o statku powietrznym.....	8
1.7. Informacje meteorologiczne.	10
1.8. Pomoce nawigacyjne.	10
1.9. Łączność.	11
1.10 Informacje o miejscu zdarzenia.	11
1.11. Rejestratory pokładowe.	11
1.12 Informacje o szczątkach i zderzeniu.	11
1.13. Informacje medyczne i patologiczne.	12
1.14. Pożar.	12
1.15. Czynniki przeżycia.....	12
1.16. Badania i ekspertyzy.	12
1.17. Informacje o organizacjach i działalności administracyjnej.	12
1.18. Informacje uzupełniające.	13
1.19. Użyteczne lub efektywne metody badań.....	13
2. ANALIZA.....	13
2.1. Poziom wykształcenia załogi.....	13
2.2 Przebieg lądowania.	14
2.3. Długość dobiegu	18
2.3 Wyważenie samolotu	20
2.4 Siły zewnętrzne działające na samolot podczas dobiegu	22
2.5 Czynniki sprzyjające kapotażowi samolotu.	23
2.6. Opory toczenia	24
2.7. Możliwość usterki technicznej układu hamowania.....	26
3. WNIOSKI KOŃCOWE.	27
3.1. Ustalenia Komisji.....	27
3.2 Przyczyny zdarzenia	27
4. ZALECENIA PROFILAKTYCZNE	28
5. ZAŁĄCZNIKI.	29

INFORMACJE OGÓLNE

Rodzaj zdarzenia:	Incydent
Rodzaj i typ statku powietrznego:	Samolot AN-2
Znaki rozpoznawcze statku powietrznego:	SP-FYM
Dowódca statku powietrznego:	Pilot samolotowy turystyczny
Organizator lotów/skoków:	Aeroklub Lubelski
Użytkownik statku powietrznego:	Aeroklub Lubelski
Właściciel statku powietrznego:	Aeroklub Lubelski
Miejsce zdarzenia:	Lotnisko Aeroklubu Lubelskiego EPLR
Data i czas zdarzenia:	6 września 2014 r. godz. 10:44 UTC
Stopień uszkodzenia statku powietrznego:	Nieznacznie uszkodzony
Obrażenia załogi:	Bez obrażeń

STRESZCZENIE

Zdarzenie miało miejsce na lotnisku Aeroklubu Lubelskiego w Radawcu. W dniu 6.09.2014 r. odbywały się skoki spadochronowe z samolotu An-2. Załogę stanowili dwaj piloci z licencją PPL(A). Wszystkie loty wykonywano do wysokości 3000 m AGL. Czwarty tego dnia lot przebiegał normalnie do momentu lądowania. W fazie wytrzymania samolot odbił się od powierzchni lotniska i powtórnie przyziemił na dwa koła podwozia głównego. Po krótkim dobiegu podparł się śmigłem o powierzchnię lotniska i w tym położeniu pozostał. Załoga nie odniosła obrażeń. Samolot przywrócono do normalnej pozycji przy pomocy dźwigu chroniąc kadłub przed uszkodzeniem. W wyniku zdarzenia zostały nieznacznie wygięte łopaty śmigła bez widocznych uszkodzeń płatowca i pozostałej części zespołu napędowego.

Badanie zdarzenia przeprowadził zespół badawczy PKBWL w składzie:

- mgr inż. pil. Andrzej Pussak -kierujący zespołem,
- dr inż. pil. Władysław Bubień -członek zespołu,
- mgr inż. pil. Robert Waręcki -członek zespołu,
- Grzegorz Piwowarski -członek zespołu.

W trakcie badania PKBWL ustaliła, że bezpośrednią przyczyną incydentu był błąd pilotażu przy lądowaniu, z prawdopodobnym hamowaniem kół podwozia na dobiegu samolotu. Do zdarzenia mogła się przyczynić niewłaściwa współpraca załogi w kabinie.

PKBWL po zakończeniu badania zaleca wprowadzenie obowiązku szkolenia osób wykonujących zadania na samolotach wielozałogowych w zakresie czynnika ludzkiego we współpracy załogi. Wymagania takie wraz z odpowiednimi procedurami powinny być wprowadzone do Instrukcji Operacyjnych ATO (Organizacji Ośrodka Szkolenia Lotniczego).

1. INFORMACJE FAKTYCZNE.

1.1. Historia lotu.

W dniu 6.09.2014 r. na lotnisku Aeroklubu Lubelskiego w Radawcu odbywały się skoki spadochronowe z samolotu An-2. Załogę stanowili piloci z licencją PPL(A) (turystyczną pilota samolotowego): jeden z niewielkim nalotem, a drugi o większym doświadczeniu lotniczym. Funkcje dowódcy statku powietrznego w kolejnych lotach piloci pełnili na przemian. Wszystkie loty wykonywano do wysokości 3000 m AGL. Jednocześnie na lotnisku odbywały się loty szybowcowe za wyciągarką na pasie trawiastym „11”. Załoga samolotu utrzymywała łączność radiową z kierownikiem skoków znajdującym się przy kole spadochronowym i kierownikiem lotów na starcie szybowcowym.

W czwartym tego dnia locie dowódcą samolotu An-2 był pilot o mniejszym doświadczeniu lotniczym. Skoczkowie wsiedli na pokład samolotu stojącego w pobliżu koła spadochronowego. Dowódca uruchomił silnik na sygnał drugiego pilota stojącego jeszcze na ziemi. Samolot wystartował z pasa „11”. Drugi pilot zeznał, że po starcie dał znak pierwszemu, by zahamował obracające się koła podwozia. Lot przebiegał normalnie. Po zrzućcie ostatniej grupy skoczków z wysokości 3000 m załoga przeszła na zniżanie w strefie lotniska. Uzyskując zgodę kierownika lotów znajdującego się na starcie szybowcowym podejście do lądowania wykonano na kierunku 100⁰ dokładnie „pod wiatr”. Przed lądowaniem pierwszy pilot wychylił klapy na 15⁰. Według zeznań załogi na prostej była utrzymywana prędkość 130 km/h. Lądowanie nastąpiło na powierzchni trawiastej po prawej stronie pasa „11” przy prędkości wiatru wg prognozy pogody 5 KT (3m/s). Po przyziemieniu samolot odbił się od powierzchni lotniska, przeleciał ponad 40

m i przyziemił powtórnie na koła główne. Po krótkim dobiegu przy horyzontalnym położeniu kadłuba (wg zeznań świadka) uniósł ogon do góry i oparł się śmigłem o ziemię. Odległość od pierwszego śladu kół podwozia głównego do miejsca zatrzymania samolotu wyniosła 106 m. Na dobiegu samolot nie zmienił kierunku, a w końcu pochylił do przodu symetrycznie. Po kontakcie śmigła z ziemią kadłub odchylił się o kilkanaście stopni w prawo. W tym położeniu pozostał opierając się na kołach głównych i łopatach śmigła. Wyłączenie silnika nastąpiło samoczynnie. Załoga opuściła samolot samodzielnie. Przed tym, dowódca zamknął zawór paliwa i wyłączył zasilanie elektryczne, a drugi pilot wyłączył iskrowniki. Podczas lądowania piloci nie odnieśli obrażeń ciała.

Lądowanie obserwował szkolący się na samolotach pilot szybowcowy przebywający na starcie. W jego ocenie nastąpiło „twarde” przyziemienie na główne podwozie, po którym samolot odbił się od ziemi. Po powtórным przyziemieniu samolot odbił się od ziemi na mniejszą wysokość, a później się toczył „z podniesionym ogonem”.

Samolot przywrócono do normalnej pozycji przy pomocy dźwigu chroniąc kadłub przed uszkodzeniem. Oprócz nieznacznie wygiętych łopat śmigła brak widocznych uszkodzeń płatowca i zespołu napędowego. Po zdarzeniu skasowano śmigło, a silnik przekazano do weryfikacji technicznej.



Rys. 1 Samolot podparty na śmigło na końcu dobiegu

1.2. Obrażenia osób.

Nie było

1.3. Uszkodzenia statku powietrznego

Dwie nieznacznie wygięte łopaty śmigła. Na pozostałych łopatach starcie lakieru świadczące o kontakcie z ziemią przy obracającym się śmigle. Silnik samolotu został przekazany do weryfikacji technicznej.



Rys. 2 Ślady kontaktu łopat z ziemią obracającego się śmigła.



Rys. 4 Fotografie śmigła po postawieniu samolotu

1.4. Inne uszkodzenia.

Nie było

1.5. Informacje o składzie osobowym (dane o załodze).

Dowódca statku powietrznego

Mężczyzna lat 30 o kwalifikacjach lotniczych:

- licencja pilota turystycznego samolotowego PL.FCL.*****.PPL(A) wydana 16. 07. 2014 r. przez Urząd Lotnictwa Cywilnego;
- uprawnienie lotnicze SEP(L) z terminem ważności 31.07.2015 r.;
- świadectwo ogólne operatora radiotelefonisty No. xxx wydane 13.02-2012 roku przez Prezesa Urzędu Komunikacji Elektronicznej;

Badania medyczne klasy 2 - bez ograniczeń z dnia 28.06.2011 r. Termin ważności orzeczenia - do 28.06.2016 r.

Wyszkolenie lotnicze dowódcy statku powietrznego

Wyszkolenie lotnicze	Samoloty	Uwagi
Nalot ogólny na samolotach [godz.] w tym w lotach samodzielnych	135:17	
	72:13	
Typy statków powietrznych	Cessna 150, An-2	
Nalot na samolocie An-2 [godz.] w tym jako dowódca	24:19	Łącznie z ostatnim lotem
	12:06	

Ostatnie 10 lotów dowódcy przed zdarzeniem

Lp.	Data lotu	Samolot	Zadanie	Czas lotu [godz.]	
				Samodz.	Dwuster
1	23.08.2014	An-2	J/4	00:31	
2	23.08.2014	An-2	J/4	00:34	
3	29.08.2014	An-2	J/4	00:24	
4	29.08.2014	An-2	J/4	00:30	
5	29.08.2014	An-2	J/4	00:19	
6	29.08.2014	An-2	J/4	00:30	
7	06.09.2014	An-2	J/4	00:39	
8	06.09.2014	An-2	J/4		00:38
9	06.09.2014	An-2	J/4	00:40	
10	06.09.2014	An-2	J/4		00:39
				4:06	1:17

Drugi pilot

Mężczyzna lat 50 - posiada następujące kwalifikacje lotnicze:

- licencja pilota turystycznego samolotowego PL..*****.PPL(A)-12. wydana przez Urząd Lotnictwa Cywilnego, ważna do 11.06.2017. Pierwsze wydanie licencji 11.07.2007 r.
- uprawnienie lotnicze SEP(L) z terminem ważności 31.10.2015 r.;
- świadectwo ogólne operatora radiotelefonisty No. L-7328 wydane 05.10.2005 roku przez Prezesa Urzędu Regulacji Telekomunikacji i Poczty.

Badania medyczne klasy 2 - bez ograniczeń z dnia 21.03.2014 r. Termin ważności orzeczenia - do 30.04.2015 r.

Wyszkolenie lotnicze drugiego pilota

Wyszkolenie lotnicze	Samoloty	Uwagi
Nalot ogólny [godz.] w tym w lotach samodzielnych	694:42	
	510:49	
Typy statków powietrznych	Jak12, An-2	
Nalot na samolocie An-2 [godz.] w tym jako dowódca	243:56	Łącznie z ostatnim lotem
	168:03	

Ostatnie 10 lotów drugiego pilota przed zdarzeniem

Lp.	Data lotu	Samolot	Zadanie	Czas lotu [godz]	
				Samodz.	Dwuster
1	27.08.2014	Jak-12	J/4	00:04	
2	27.08.2014	Jak-12	J/4	00:05	
3	27.08.2014	Jak-12	J/4	00:05	
4	27.08.2014	Jak-12	J/4	00:05	
5	27.08.2014	Jak-12	J/4	00:04	
6	27.08.2014	Jak-12	J/4	00:06	
7	06.09.2014	An-2	J/4	00:39	
8	06.09.2014	An-2	J/4		00:38
9	06.09.2014	An-2	J/4	00:40	
10	6.09.2014	An-2	J/4		00:39
				1:48	1:17

1.6. Informacje o statku powietrznym.

Samolot An-2 to jednosilnikowy dwupłat o metalowej półskorupowej konstrukcji kadłuba. Samolot uczestniczący w zdarzeniu lotniczym był skonfigurowany w wersji desantowej, przystosowany do skoków spadochronowych. Skrzydła pokryte płótnem. Układ podwozia klasyczny, z kołem tylnym. Podwozie główne samolotu jest stałe, wyposażone w dwustronne hamulce pneumatyczne.

Rok budowy	Producent	nr fabryczny	znaki rozpoznawcze	nr rejestru	data rejestru
1972	WSK-Mielec	1G13758	SP-FYM	3239	15.10.2004

Świadectwo Sprawności Technicznej ważne do 17.03.2015 r.

Nalot płatowca od początku eksploatacji 3953:26 godz.

Liczba lotów od początku eksploatacji 9887 lotów.

Nalot płatowca od ostatniego remontu lub przeglądu 1524:06 godz.

Resurs pozostały do kolejnego remontu lub przeglądu 975:54 godz.

Data wykonania ostatnich czynności okresowych 30.05.2014 r.

przy nalocie całkowitym 3886:46 godz.

wykonano w Aeroklubie Lubelskim. Cert: PL.MF.022

Kolejne czynności okresowe „100” po nalocie 3986:46 godz.

W ramach prac okresowych „100” wykonano sprawdzenie podwozia i obwodu hamulców instalacji pneumatycznej (CRS 040/022/2014, czynności 31÷38 w karcie zadaniowej).

Silnik: ASz-62IR/SERIA 16/ – dziewięciocylindrowy czterosuwowy o układzie pojedynczej gwiazdy, gaźnikowy, chłodzony powietrzem, o prawym kierunku obrotów (patrząc od strony kabiny). Silnik posiada reduktor planetarny obrotów śmigła.

Rok produkcji	Producent	nr fabryczny
b/d	WSK PZL-Kalisz	K16457197

Data zabudowy silnika na płatowiec 17.03.2013 r.

Maks. moc startowa 1000 KM

Czas pracy silnika od początku eksploatacji 1116:09 godz.

Czas pracy silnika od ostatniej naprawy głównej 247:07 godz.

Resurs pozostały do kolejnego remontu lub przeglądu 752:53 godz.

Data wykonania ostatnich czynności okresowych 24.06.2014 r.

przy liczbie godzin pracy 215:41

wykonano w Aeroklubie Lubelskim. Cert: PL.MF.022

Kolejne czynności okresowe „100” po napracowaniu 271:51 godz.

Śmigło AW-2/SERIA 2/ czterołopatowe, konstrukcji metalowej

Rok produkcji	Producent	nr fabryczny
1988	WSK PZL-Warszawa Okęcie	W488119

Data zabudowy śmigła na płatowiec 17.03.2013 r.

Czas pracy od początku eksploatacji 1536:55 godz.

Czas pracy od ostatniej naprawy głównej n/d

Resurs pozostały do kolejnego remontu lub przeglądu 463:05 godz.

Data wykonania ostatnich czynności okresowych 24.06.2014 r.
przy liczbie godzin pracy 1505:29
wykonano w Aeroklubie Lubelskim. Cert: PL.MF.022

Kolejne czynności okresowe „100” po napracowaniu 1561:39 godz.

Stan paliwa i oleju po lądowaniu:

paliwo: 300 l (wg paliwomierzy pokładowych)

olej: 65 l (ilość zmierzona po lądowaniu samolotu)

Wyposażenie dodatkowe:

Nie było

Dane masowe samolotu do lądowania

– masa samolotu pustego:	3458 kg
– masa paliwa	300 x 0,72 = 216 kg
– masa oleju	6 x 0,89 = 58 kg
– masa załogi (ze spadochronami)	180 kg
Ciężar rzeczywisty do lądowania	3912 kg ¹⁾
Ciężar dopuszczalny do startu	5500 kg ¹⁾

1.7. Informacje meteorologiczne.

Prognoza pogody dla obszaru A4 FIR Warszawa na okres 4:00 ÷ 10:00 UTC przewidywała wiatr przy ziemi z kierunku 100⁰ o prędkości 6 KT (3m/s) oraz widzialność 10 km. Ciśnienie QNH - 1023 hPa. Trafność prognozy jest potwierdzona danymi ze strony internetowej [pogoda.interia.pl/archiwum pogody](http://pogoda.interia.pl/archiwum_pogody). Dnia 6 września 2014 roku między godziną 12:00 i 13:00 czasu lokalnego w miejscowości Radawiec Duży wiał wiatr z kierunku ESE o prędkości 6 km/h w porywach do 17 km/h (zakres ~2-5 m/s). Temperatura powietrza przy ziemi wynosiła 17⁰ C. W rejonie lotniska Radawiec w tym czasie nie było zachmurzenia. Warunki meteorologiczne nie miały wpływu na wydarzenie.

1.8. Pomoce nawigacyjne.

Nie dotyczy

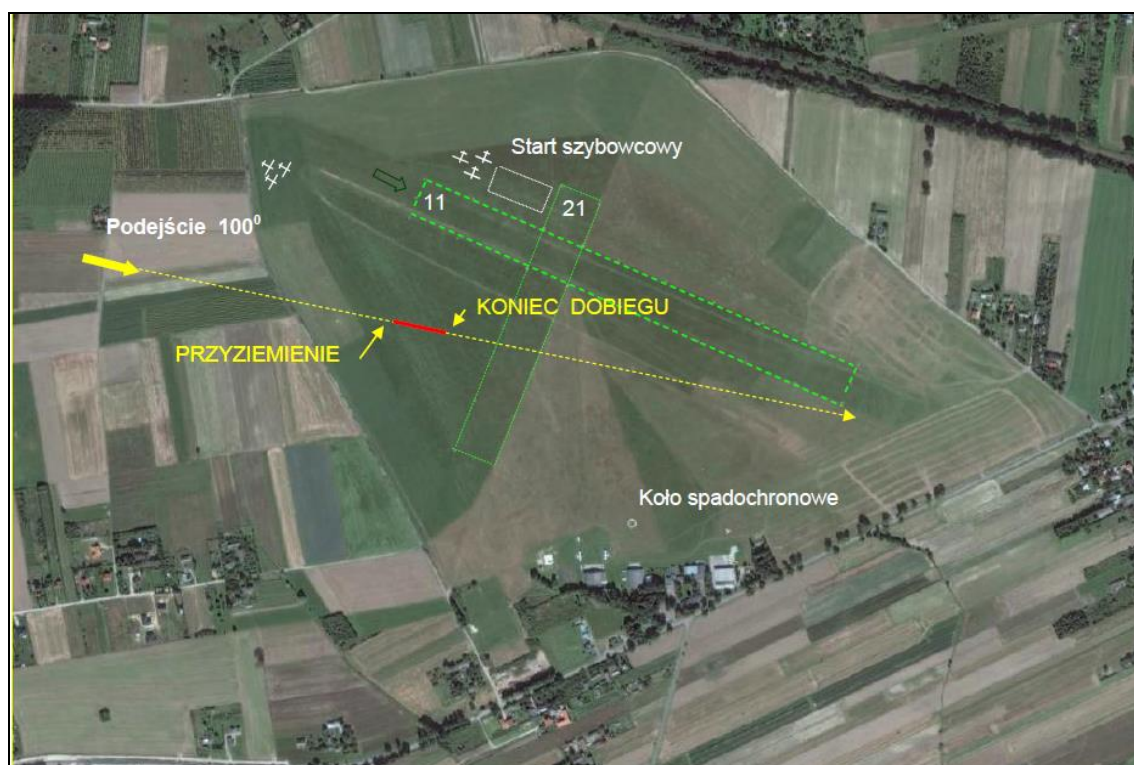
¹⁾ W lotnictwie dla statków powietrznych oficjalnie używa się terminu „ciężar” przypisując mu jednostki masy [kg]

1.9. Łączność.

Samolot był wyposażony w radiostację nadawczo-odbiorczą RS-6102A Nr fabr. 8501916 o mocy 7 W i zakresie częstotliwości 118-136.975 MHz. Pozwolenie radiowe Nr PA/0938/12 ważne do dnia 22.04.2022 r. Kierownik lotów przebywał na starcie szybowcowym i utrzymywał korespondencję radiową na częstotliwości 122.40 MHz. Przy kole spadochronowym znajdował się instruktor prowadzący skoki, dysponując radiostacją przenośną do korespondencji z załogą samolotu.

1.10 Informacje o miejscu zdarzenia.

Zdarzenie nastąpiło przy lądowaniu samolotu na lotnisku Aeroklubu Lubelskiego w miejscowości Radawiec. Środek lotniska określają współrzędne geograficzne: 51013'18"N i 022023'40.40"E i wysokość 240 m AMSL. Na lotnisku są wydzielone dwa pasy trawiaste - jak na rysunku 5 - oznaczone białymi markerami.



Rys. 5. Rozłożenie startu na lotnisku Radawiec w dniu wydarzenia 6.09.2014 r.

1.11. Rejestratory pokładowe.

Nie było

1.12 Informacje o szczątkach i zderzeniu.

Nie dotyczy

1.13. Informacje medyczne i patologiczne.

Na podstawie dokumentów osobistych załogi Komisja stwierdza:

- w dniu zdarzenia obaj piloci mieli ważne badania lotniczo-lekarskie,
- stan zdrowia pilotów nie miał wpływu na przebieg lotu.

1.14. Pożar.

Nie było

1.15. Czynniki przeżycia.

Samolot po wylądowaniu zakończył dobieg podpierając się śmigłem przy małej prędkości postępowej. Piloci nie doznali żadnych urazów i o własnych siłach wydostali się z samolotu.

1.16. Badania i ekspertyzy.

Bezpośrednio po zdarzeniu, na podpartym na śmigle samolocie sprawdzono stan szczęk hamulców kół, położenie zapadek blokujących dźwignie układu hamowania podwozia oraz wykonano fotografie samolotu, tablicy przyrządów i wnętrza kabiny pilotów, a także śladów na płycie lotniska.

Analiza dokumentacji samolotu nie wykazała niedociągnięć w obsłudze technicznej.

Przeanalizowano dokumentację lotniczą dowódcy i pierwszego pilota. Nie stwierdzono niedociągnięć formalnych a także błędów w przebiegu szkolenia.

1.17. Informacje o organizacjach i działalności administracyjnej.

Czynności wstępne związane z zabezpieczeniem miejsca zdarzenia, zabezpieczenie samolotu, dokumentację fotograficzną, pomiar długości śladów na trawie wykonał personel Aeroklubu Lubelskiego przy udziale miejscowego eksperta PKBWL. Dla ochrony podpartego na śmigle samolotu przed dalszym uszkodzeniem sprowadzono żuraw samochodowy, zapobiegając niekontrolowanemu opadnięciu kadłuba na tylne koło.



Rys.6 Zabezpieczenie samolotu przed niekontrolowanym opadnięciem ogona.

Zdarzenie zostało zgłoszone telefonicznie do PKBWL. Po decyzji o zleceniu kontynuowania czynności miejscowemu zespołowi, odkopano zaryte w ziemi łopaty śmigła i samolot postawiono na trzech kołach. Tego samego dnia została przesłuchana załoga samolotu i świadkowie zdarzenia. Istotne dla zbadania jego przyczyn zeznania znajdują się w załączniku do Raportu.

1.18. Informacje uzupełniające.

Badanie przyczyn podparcia się samolotu na śmigle oparto na zapisach Instrukcji Użytkowania w Locie tego egzemplarza oraz książce M.N. Szifrina „Praktyczna aerodynamika samolotu An-2” [1]. Także wykorzystano ustalenia zawarte w raporcie PKBWL 2012_1153_RK z podobnego zdarzenia samolotu An-2 w 2011 roku.

1.19. Użyteczne lub efektywne metody badań.

Nie zastosowano

2. ANALIZA.

2.1. Poziom wyszkolenia załogi

Załoga miała właściwe uprawnienia do wykonania lotu, jednak doświadczenie lotnicze pierwszego pilota było niewielkie. Przy ogólnym nalocie 135 godzin, na samolocie An-2 wylatał 24 godziny - łącznie z przeszkoleniem na ten typ. Szkolenie podstawowe i późniejsze, do licencji turystycznej, odbył na lekkim samolocie Cessna 150, o trójkołowym podwoziu z przednią golenią. Technika lądowania na tym samolocie jest

inna od techniki wymaganej do lądowania samolotem An-2 i na niepoprawną korektę błędu przy lądowaniu mogły wpłynąć wcześniej nabyte nawyki.

Drugi pilot wylatał na samolocie An-2 ponad 240 godzin, z tego 168 godzin jako dowódca. Ma licencję turystyczną, bez uprawnień instruktora.

2.2 Przebieg lądowania.

Instrukcja Użytkowania w Locie (w skrócie IUL) samolotu An-2 określa jako podstawowy rodzaj lądowania przy wychyleniu klap o 30^0 i przyziemieniem samolotu na trzy punkty. W wyjątkowych przypadkach, gdy wymagany jest bardziej stromy tor podejścia do lądowania, zezwala się wychylić klapy o kąt 40^0 (dokładniej o 39.5^0). Takie same zalecenia znajdują się w książce [1]. Dalej znajduje się tam informacja: „*Lądowanie samolotu na koła główne jest jednym z rodzajów normalnego lądowania. Ten sposób zaleca się stosować:*

- a) *przy wietrze czołowym o prędkości przekraczającej 30 km/h gdy pilot nie ma pewności, czy wykona lądowanie na trzy punkty, na skutek zbyt niskiego podprowadzenia samolotu do ziemi przy lądowaniu bez użycia klap;*
- b) *gdy pilot nie jest pewny dokładnego określenia odległości od ziemi (np. przy pokrywie śnieżnej, w warunkach ulewnego deszczu, zamieci, o zmroku).*

W przypadkach lądowania samolotu na główne koła*nie dopuszczać do „unoszenia” w górę samolotu podczas wytrzymania; w momencie dotknięcia kołami ziemi przytrzymać sterownicę i nie dopuszczać oderwania się samolotu od ziemi.*

..... *We wszystkich przypadkach w miarę zmniejszania się prędkości na dobiegu przyciągać sterownicę „do siebie”, a hamulców użyć dopiero wtedy, gdy sterownica będzie całkowicie przyciągnięta.*

W rozpatrywanym przypadku klapy były wychylone na 15^0 . IUL nie zabrania lądowania samolotu w tej konfiguracji. W rzeczywistych warunkach w tym dniu należało lądować na trzy punkty i prawdopodobnie pilot miał taki zamiar. Lądujący samolot zetknął się z ziemią z niecałkowicie opuszczonym ogonem i odbił się od niej przelatując ponad 40 m.

Szifrin [1] jako jedną z przyczyn przyziemienia samolotu z odbiciem podaje*”niewspółmierne do odległości samolotu od ziemi przyciąganie sterownicy „do siebie”, co charakteryzuje młodych pilotów przy wykonywaniu przez nich lądowania na samolocie z małym zapasem paliwa, bez ładunku, gdy położenie środka ciężkości samolotu jest bardziej przednie. Dla skorygowania błędu należy:*

a) przytrzymać sterownicę i nie odchyłać jej „od siebie”, gdyż samolot An-2 odbija się od ziemi na nieznaczna wysokość; odchylenie sterownicy „od siebie” po odbiciu się samolotu od ziemi na małej prędkości może doprowadzić do powtórnego uderzenia kołami samolotu o ziemię pod takim kątem, przy którym możliwe jest kapotowanie;.....(str. 233).

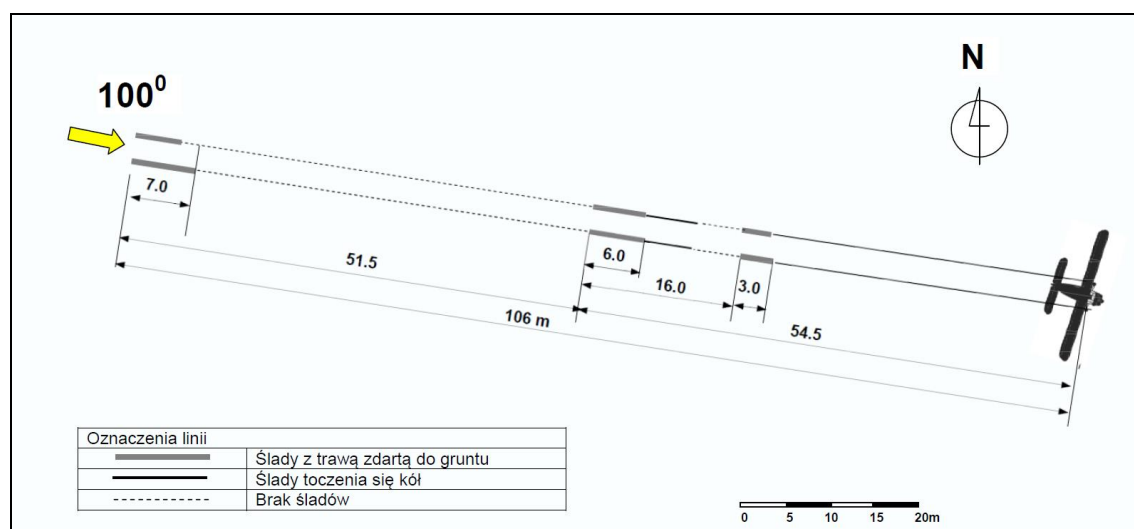
Okoliczności zdarzenia wskazują na taki przypadek. Pierwszy pilot miał niewielkie doświadczenie lotnicze.

Drugi pilot zeznał: ...”Przy pierwszym przyziemieniu odniosłem wrażenie, że samolot przyziemił na przednie koła. Nastąpiło odbicie, po którym odniosłem wrażenie, że kolega lekko oddał wolant i zwiększył obroty silnika. Dociągnąłem wolant i równolegle ująłem obroty. Samolot przyziemił a po niedługim czasie zauważyłem, że bardzo powoli pochyla się do przodu. Wolant był ściągnięty. Nastąpiło podparcie się śmigłem”.

Pierwszy pilot opisał lądowanie bardziej lakonicznie. W bezpośredniej rozmowie stwierdził, że był skoncentrowany na pilotowaniu samolotu i nie widział czy drugi pilot ingeruje w sterowanie w trakcie lądowania.

Na trawie widoczne były tylko ślady kół głównych jak na rysunku 7. Odbicie od ziemi nastąpiło dwa razy.

Charakter śladów samolotu na trawie i długość dobiegu wskazuje na prawdopodobne przyhamowanie kół. Pod tym kątem dokonano analizy warunków kapotażu samolotu.



Rys. 7 Ślady po lądowaniu samolotu An-2 na lotnisku Radawiec



Rys. 8 Ślady na trawie po pierwszym przyziemieniu samolotu.

- a) Widok ogólny i ślad lewego koła po pierwszym przyziemieniu samolotu
- b) Powiększenie śladu z rys. a)



Rys. 9 Ślady na trawie po trzecim przyziemieniu samolotu.



Rys.10 Ślady na trawie lewego i prawego koła w ostatniej fazie dobiegu samolotu



Rys. 11 Widok łopat śmigła z prawej i lewej strony samolotu. Po uderzeniu w ziemię jednej z łopat samolot obrócił się w prawą stronę, a dwie kolejne łopaty wbiły się w grunt.

Prędkość samolotu w końcowej fazie dobiegu

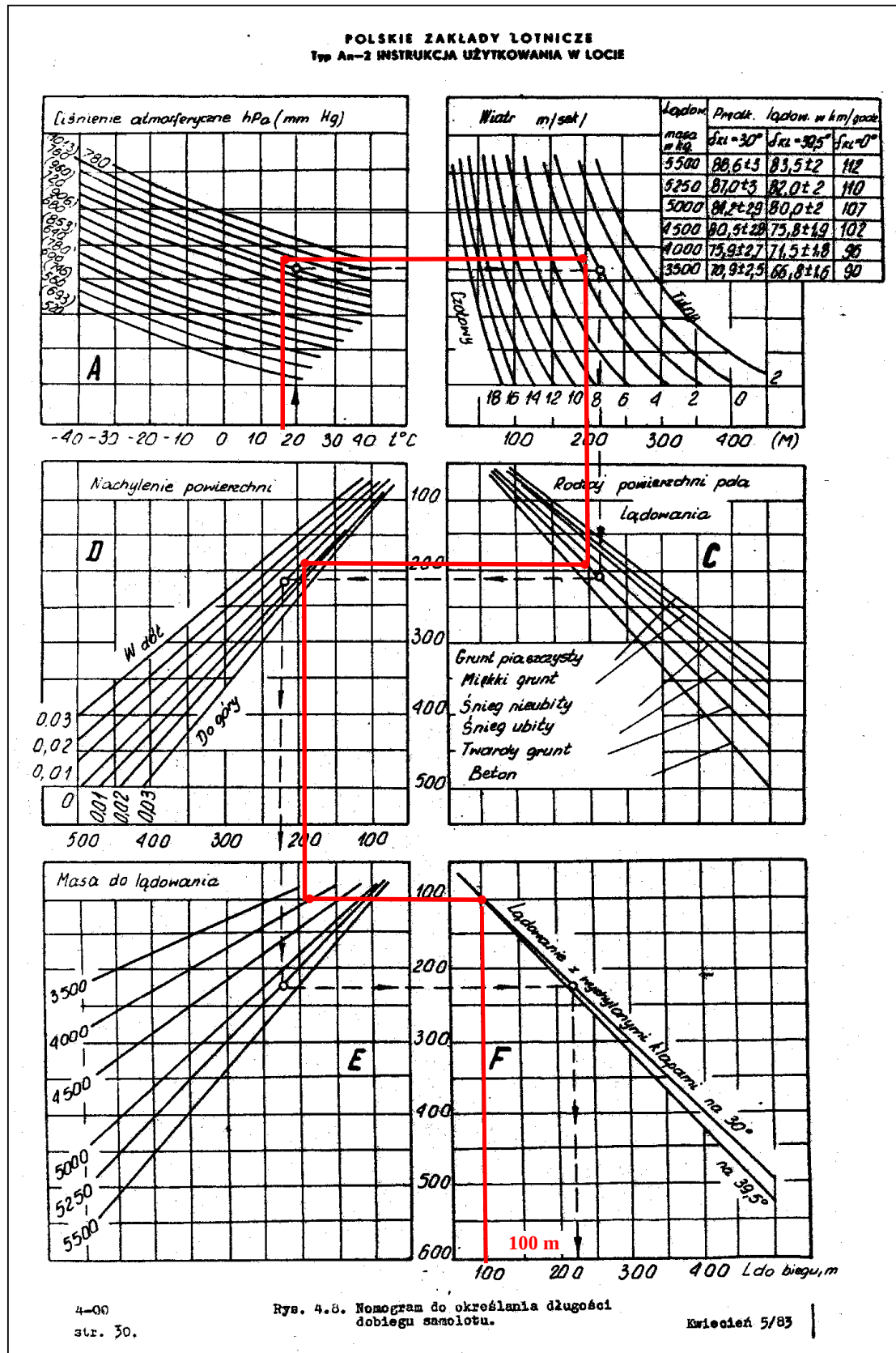
Po zatrzymaniu samolotu jego kadłub był odchylony od kierunku lądowania o kilkanaście stopni. Opierał się na dwóch łopatach śmigła wbitych w ziemię. Na dwóch pozostałych widać startą farbę, co świadczy o ich kontakcie z powierzchnią lotniska. Jedna z łopat wyorała dość głęboki ślad, powodując odchylenie kadłuba samolotu w prawą stronę, co widać na Rys. 11.

Kolejne dwie łopaty wbiły się głęboko w ziemię. Biorąc pod uwagę ślady na ziemi, jakie pozostawiły łopaty tracącego obroty śmigła, można ocenić, że prędkość postępowania samolotu w ostatniej fazie dobiegu była mała i siły aerodynamiczne nie miały wpływu na jego ruch

2.3. Długość dobiegu

Od pierwszego przyziemienia do zatrzymania samolot przebył 106 m, z tego około 50 m w powietrzu, dwukrotnie odbijając się od powierzchni lotniska (Rys.7). Uwzględniając rzeczywiste warunki lądowania można określić długość dobiegu na podstawie nomogramu z Instrukcji Użytkowania w Locie samolotu An-2 (Rys.12).

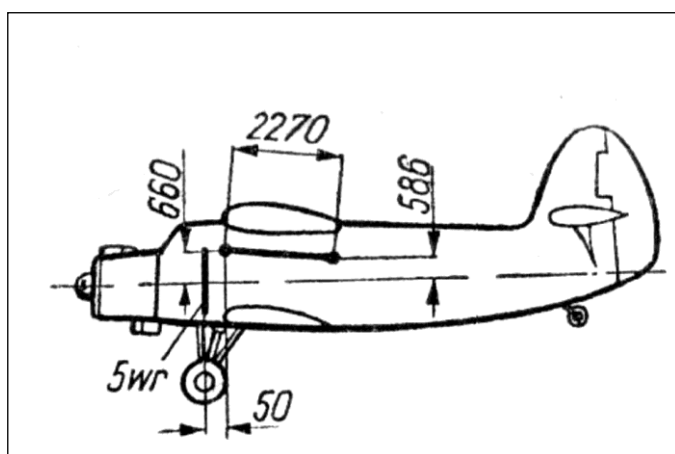
Dla samolotu SP-FYM długość dobiegu, przy użyciu hamulców kół podwozia, teoretycznie powinna w tej sytuacji wynosić 100 m. Odnosi się to do lądowania poprawnego, z właściwą prędkością przyziemienia, z wysuniętymi slotami, bez odbicia się samolotu od ziemi. Przy niesprawnych hamulcach dobieg zwiększa się o 300 – 350 m wg IUL (wg Szifrina 150 m). Lądowanie samolotu SP-FYM nie było poprawne. Powierzchnia lotniska była w miarę równa, twarda, porośnięta niską trawą. Krótki dobieg samolotu wskazuje na to, że koła podwozia były przyhamowane.



Rys.12 Określenie teoretycznej długości dobiegu samolotu SP-FYM podczas lądowania zakończonego podparciem się na śmigło. Dane: ciężar samolotu 3912 kg, OAT=17°C, QNH=767 mm Hg (1023 mb), QFE=740 mm Hg, twardy grunt, kłapy 15°. Przy prędkości przyziemienia ~90 km/h dobieg samolotu 100 m z umiejętnym użyciem hamulców podwozia. Bez hamulców dobieg zwiększa się o 300 - 350 m (wg IUL).

2.3 Wyważenie samolotu

Zakres położenia środka ciężkości samolotu X_{sc} względem średniej cięciwy aerodynamicznej (SCA) przedstawia diagram na Rys. 4. Dla samolotów dwupłatowych położenie i długość średniej cięciwy określa się teoretycznie na podstawie geometrii oraz powierzchni górnego i dolnego skrzydła (komory dwupłata). Usytuowanie SCA względem kadłuba samolotu An-2 podano na rysunku 13.



Rys.13 Położenie średniej cięciwy aerodynamicznej samolotu An-2. Rysunek z książki [1].

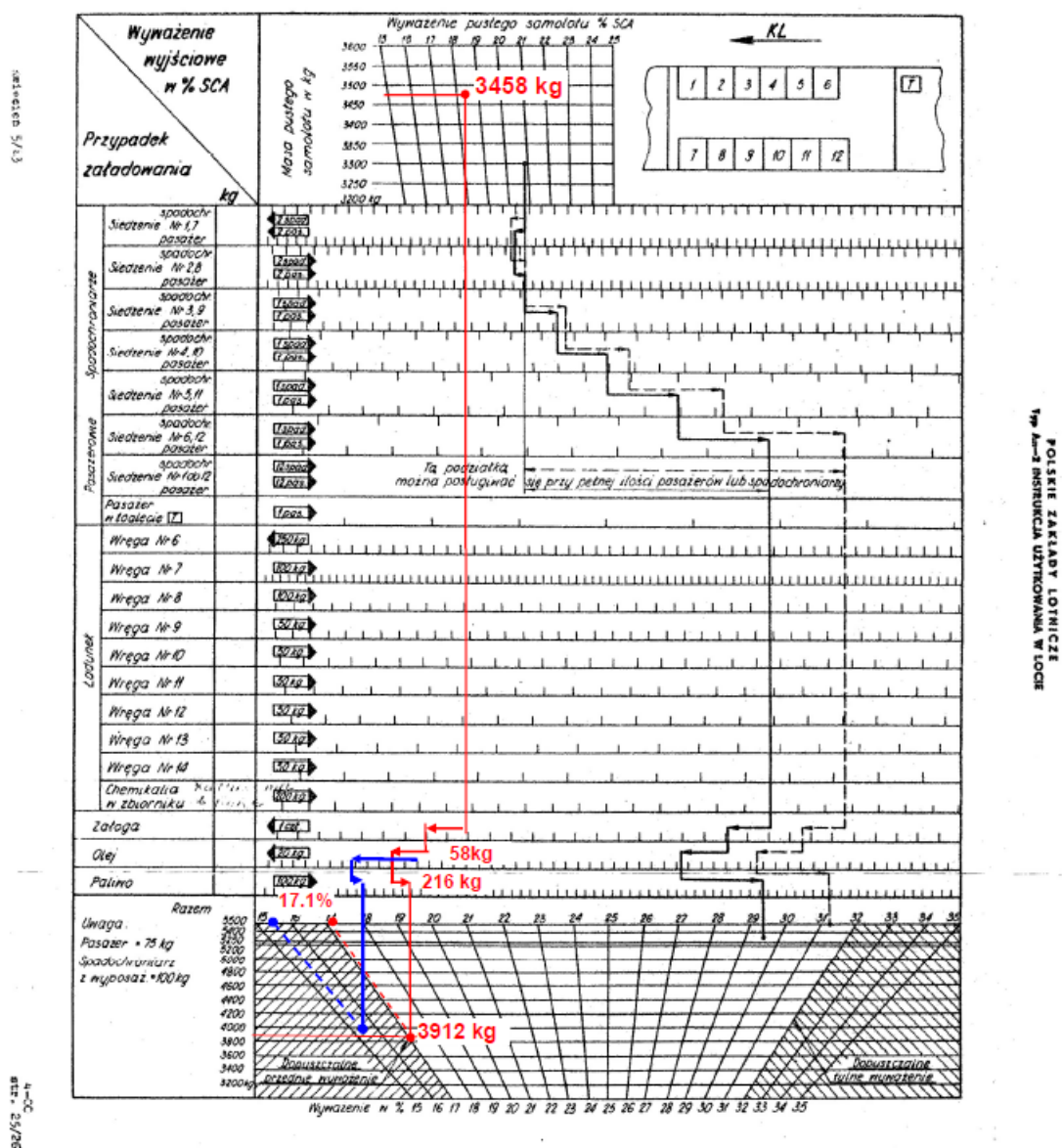
Dane do obliczeń dla samolotu SP-FYM znajdują się w tabelicy 2.1. Oparte są na aktualnym protokole ważenia tego samolotu i przykładzie na str. 24 w rozdziale 4-00 Instrukcji Użytkowania w Locie.

Tablica 2.1

Załadowanie		Masa G [kg]	Ramię X^{**} [m]	Moment GX [kgm]
Pusty samolot	-	3548	0.469 ^{*)}	1664.01
Załoga	2x90 kg	180	-0.326	-60.48
Paliwo	300 l x 0.72 kg/l	216	0.944	203.90
Olej	65 l x 0.89 kg/l	58	-1.586	-91.99
^{*)} względem 5-tej wręgi samolotu ^{**) $X = 0.1845 \times 2.269 + 0.050 = 0.469$ m}		3912	0.439	1715.44

Odległość środka ciężkości samolotu od 5-tej wręgi $X = 1715.44/3912 = 0.439$ m
Położenie środka ciężkości względem SCA: $X_{SC} = (0.439 - 0.050)/2.269 = 17.12\%$ S_{CA}

Podczas feralnego lądowania położenie środka ciężkości X_{sc} równe 17.12% S_{CA} było na granicy dolnego ograniczenia - 17% S_{CA} . Ten sam wynik uzyskano na podstawie wykresu do wyznaczania położenia środka ciężkości (wg rys. 4.5. IUL samolotu An-2).



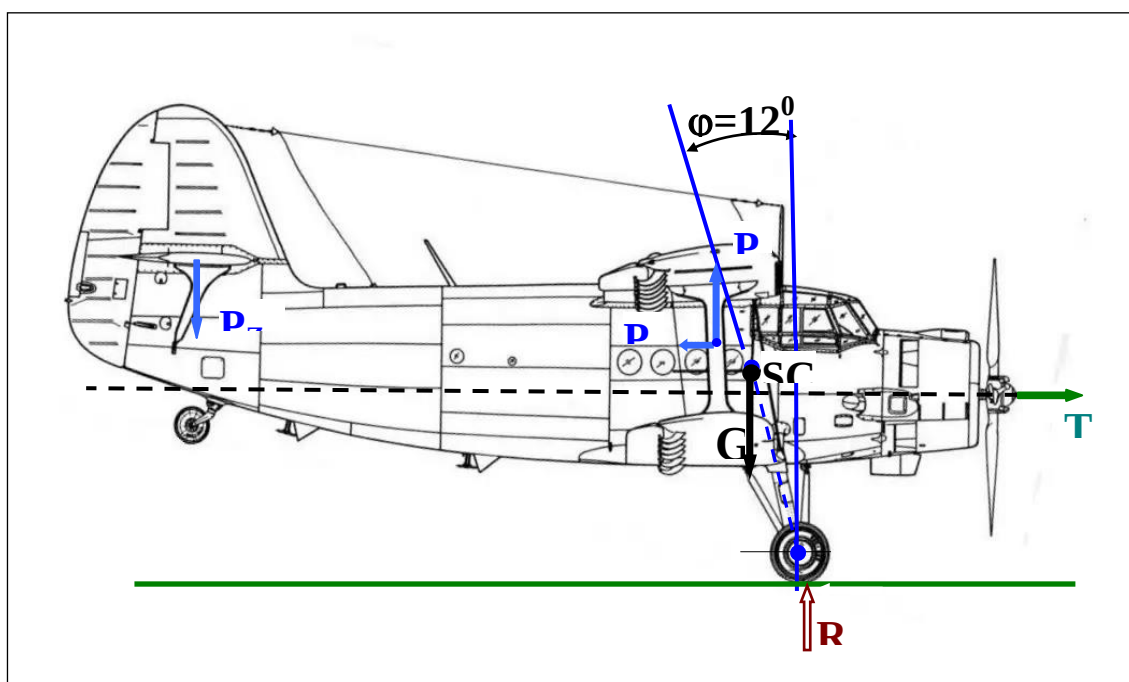
Rys.14 Nomogram do określania środka ciężkości samolotu An-2 z Instrukcji Użytkownika w Locie. Położenie środka ciężkości samolotu SP-FYM przy lądowaniu dla danych z tablicy 2.1 określa linia czerwona. Kolorem niebieskim oznaczono możliwe wyważenie samolotu w najbardziej niekorzystnej konfiguracji do lądowania.

Należy zauważyć, że w skrajnym przypadku, przykładowo: załoga 2x80 kg, paliwo 200 l, olej 125 l, bez bagażu - środek ciężkości samolotu przesunie się do przodu wykraczając poza wartość graniczną (niebieska linia na rys. 14). Właściwe położenie środka ciężkości zapewnia wymagane przepisami zapasy sterowania podczas lotu i odpowiedni kąt przeciwnapędowy przy kołowaniu samolotu.

W książce [1] znajduje się informacja, że środek ciężkości pustego samolotu jest położony 330 mm powyżej płaszczyzny poziomej montażowej. Ponieważ oś wału głównego leży w tej płaszczyźnie, samolot ma dolną decentrację. Ciąg śmigła podczas lotu wywołuje moment zadzierający. Niezależnie od załadowania samolotu decentracja jest zawsze dolna. Uwzględniając ciężar załogi, paliwa i oleju lądującego samolotu SP-FYM można przyjąć, że pionowe położenie środka ciężkości nieznacznie odbiegało od położenia dla samolotu pustego.

2.4 Siły zewnętrzne działające na samolot podczas dobiegu

Na Rys. 15 przedstawiono w uproszczeniu układ głównych sił zewnętrznych, jakie działają na samolot podczas dobiegu.



Rys. 15 Siły zewnętrzne działające na samolot podczas dobiegu

Oznaczenia: P_z – wypadkowa aerodynamicznych sił nośnych
 P_x – aerodynamiczna siła oporu samolotu
 P_{ZH} – aerodynamiczna siła nośna usterzenia
 G – ciężar samolotu
 T – siła ciągu śmigła
 R – reakcja podłoża toczącego się samolotu

Wielkość sił aerodynamicznych spada z kwadratem prędkości postępowej. Wypadkowa P_z sił nośnych skrzydeł podczas lotu równoważy ciężar samolotu. Po przyziemieniu, w miarę utraty prędkości samolotu odpowiednio rośnie składowa R reakcji podłoża i związany z tym opór toczenia. Dla zdławionego silnika ciąg śmigła T może

być skierowany przeciwnie, zwiększając moment pochylający kadłub. Siła nośna statecznika P_{ZH} powinna być skierowana do dołu.

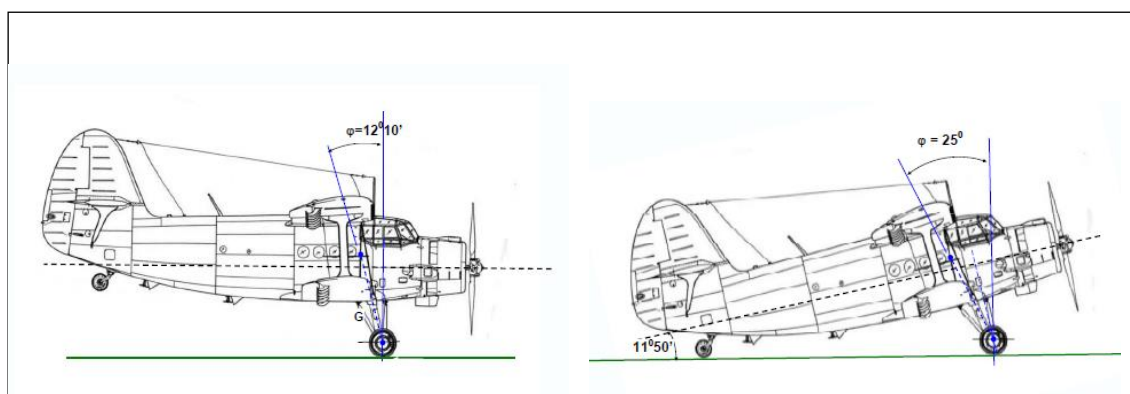
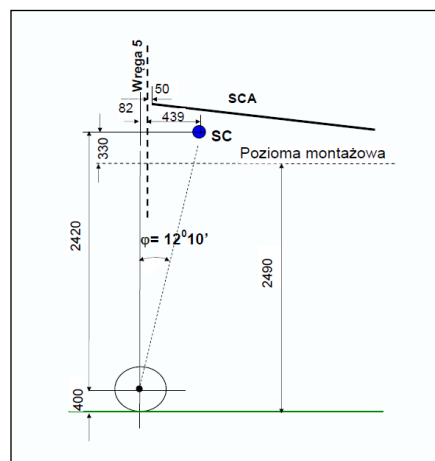
Zakres kątów wychylenia steru wysokości samolotu An-2: w dół 22^0 , w górę 42^0 . Tak duży kąt wychylenia steru wysokości w górę *zapewnia osiągnięcie kąta natarcia niezbędnego do lądowania przy małych prędkościach i przy skrajnym przednim położeniu środka ciężkości*. (Szifrin str. 61). Skuteczność sterowania na dobiegu spada tym bardziej przy zdławionej mocy silnika, gdy brak jest oddziaływania na statecznik poziomy strumienia zaśmigłowego.

2.5 Czynniki sprzyjające kapotażowi samolotu.

Jak podaje Szifrin, największe niebezpieczeństwo kapotażu występuje „*przy raptownym hamowaniu w końcowej fazie dobiegu*”. Tym bardziej w przypadku lądowania z niecałkowicie opuszczonym ogonem, oraz z wychylonymi klapami. Klapy zwiększają moment pochylający kadłub przez przesunięcie do tyłu środka parcia siły aerodynamicznej na skrzydłach, a przy dobiegu z niecałkowicie opuszczonym ogonem maleje kąt przeciwnikapotażowy. Jest to kąt zawarty między linią łączącą środek ciężkości samolotu z osią obrotu kół podwozia głównego, a linią pionową przechodzącą przez punkt styczności koła z ziemią (Rys. 16). Kapotaż występuje wówczas, gdy środek ciężkości znajdzie się przed linią działania reakcji podłoża (przy nieznaczącym wpływie sił aerodynamicznych)

Instrukcja Użytkowania w Locie samolotu An-2 podaje, że wartość kąta przeciwnikapotażowego przy kołowaniu wynosi 27^0 . Wyklucza to możliwość kapotażu „w normalnych warunkach i właściwym używaniu hamulców”. Podczas lądowania samolotu SP-FYM kąt przeciwnikapotażowy był mniejszy. Przy horyzontalnym położeniu kadłuba, po uwzględnieniu rzeczywistych współrzędnych jego środka ciężkości samolotu (Rys. 16) wartość kąta przeciwnikapotażowego wynosiła $\varphi=12^010'$. W przypadku lądowania na 3 punkty kąt przeciwnikapotażowy zwiększa się o kąt postoju samolotu, którego wartość dla AN-2 wynosi $11^050'$ (Rys. 17).

Rys.16 Szkic do obliczenia kąta przeciwnapieżowego samolotu na dobiegu w horyzontalnym położeniu kadłuba. Wymiary [mm] na podstawie IUL, protokołu ważenia samolotu SP-FYM oraz dokumentacji producenta samolotu

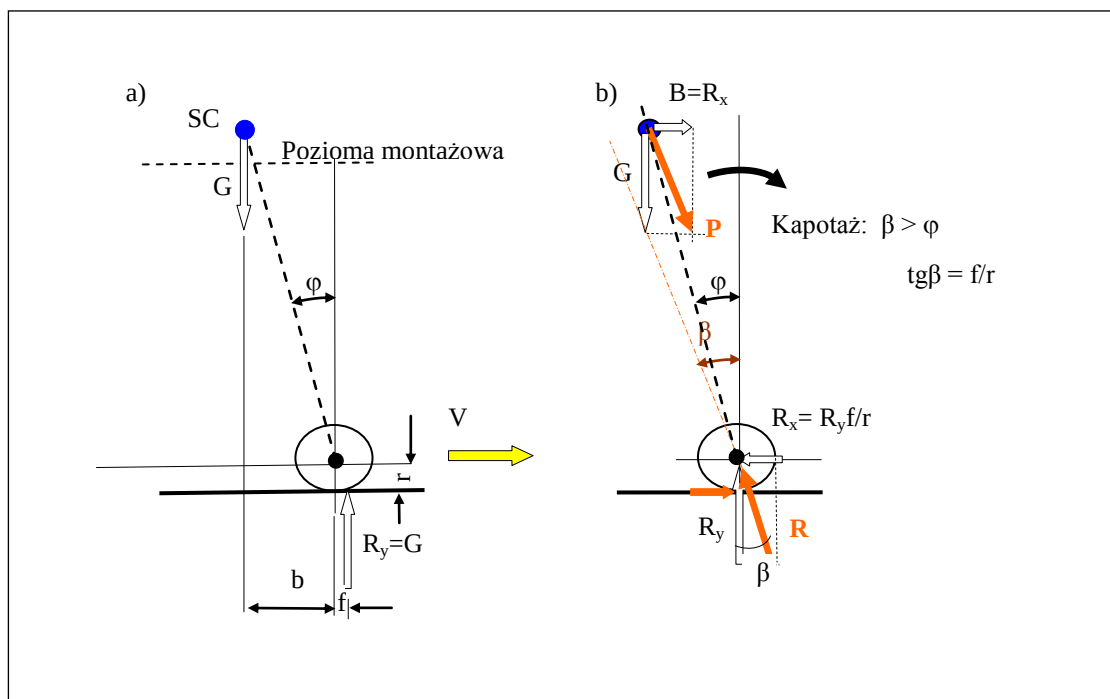


Rys. 17 Kąty przeciwnapieżowe samolotu SP-FYM w konfiguracji do lądowania

2.6. Opory toczenia

Wielkość tarcia tocznego określa jego współczynnik f wyrażany w jednostkach długości – jak na Rys. 18 a). W zakresie małych prędkości ruchu współczynnik ten jest stały. Jego wartość zależy od własności mechanicznych ogumienia kół oraz nawierzchni. Jeżeli samolot toczy się na podwoziu głównym i koła obracają się swobodnie, reakcja podłoża jest przesunięta od punktu styczności kół o wartość f . Prędkość postępową osi kół jest taka jak prędkość postępową środka ciężkości samolotu. Składowa R_x powoduje ujemne przyspieszenie samolotu, którego skutkiem występuje siła bezwładności B . Przesuwając równolegle reakcję podłoża do osi obrotu kół, przy uwzględnieniu bezwładności samolotu otrzymamy układ sił jak na Rys. 18 b).

Horyzontalne położenie samolotu na końcu dobiegu - przy pominięciu działania sił aerodynamicznych - jest możliwe tylko w przypadku gdy $\beta = \varphi$. Dla kątów $\beta < \varphi$ samolot opadnie na tylne koło. W przeciwnym przypadku uniesie ogon do góry i podeprze się śmigłem, a w szczególnych warunkach przewróci na plecy.



Rys. 18 Opory toczenia samolotu.

- Układ sił zewnętrznych podczas ruchu samolotu w położeniu horyzontalnym z udziałem tarcia tocznego.
- Układ sił z uwzględnieniem bezwładności samolotu poruszającego się z ujemnym przyspieszeniem. O położeniu kadłuba samolotu decydują wektory $\mathbf{R}$ i $\mathbf{P}$.

W literaturze stosuje się termin „współczynnik oporu toczenia” jako bezwymiarową liczbę odniesioną do promienia toczącego się koła: $f_0 = f/r$. Wartości tego współczynnika wyznaczone doświadczalnie dla samochodów są przedstawione w poniższej tabelicy².

Tabela 1 Współczynniki oporu toczenia f_0

Rodzaj nawierzchni	Samochody osobowe	Samochody ciężarowe
Gładki asfaltobeton	0,012	0,010
Gładki beton	0,014	0,012
Szorstki beton	0,015	0,013
Bardzo dobra kostka granitowa	0,016	0,014
Droga brukowana w dobrym stanie	0,025	0,023
Kostka kamienna w złym stanie	0,033	0,030
Bruk z kamienia polnego	0,040	0,035
Droga polna w średnim stanie	0,050 ÷ 0,140	
Droga piaszczysta wilgotna	0,080 ÷ 0,150	
Suchy piasek	0,150 ÷ 0,300	
Grunt trawiasty	0,060 ÷ 0,110	
Śnieg	0,040 ÷ 0,150	

Przyjmując w uproszczeniu analogię toczącego się swobodnie samolotu po gruncie trawiastym do samochodu (w tym ciężarowego), $f_0 = 0.060 \div 0.110$.

Ponieważ $f_0 = f/r = \tan \beta$, otrzymujemy zakres wartości kąta $\beta = 3^{\circ}26' \div 6^{\circ}17'$.

² Badania trakcyjne samochodu. Instrukcja do ćwiczenia. UTH Radom. Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn.

Dla samolotu An-2 kołującego po twardym gruncie trawiastym i przy ciśnieniu w oponach 0.25-0.3 MPa Szifrin (str. 203) podaje wartość współczynnika tarcia 0.05, i 0.08 dla miękkiego gruntu trawiastego (jako liczby bezwymiarowe, więc można się domyślać, że są to wartości f/r – mieszczące się w zakresie przytoczonych wyżej wartości dla samochodów),

W rozpatrywanym przypadku, dla samolotu w położeniu horyzontalnym kąt przeciwnapotażowy jest większy: $\varphi = 12^{\circ}10'$ (Rys.16). **Kapotaż mógł więc wystąpić w dwóch przypadkach: albo koła nie obracały się swobodnie, albo przy prędkości, przy której już było nieskuteczne sterowanie podłużne samolotu, kadłub był pochylony o kąt co najmniej 6° .**

2.7 Możliwość usterki technicznej układu hamowania

Ślady po przyziemieniu wskazują na poślizg kół po powierzchni lotniska Świadczy o tym trawa wydarta do powierzchni gruntu. Całkowity dystans jaki przebył samolot od pierwszego przyziemienia wynosi 106 m. Jak wykazano w p. 2.3 Raportu przy poprawnym lądowaniu z użyciem hamulców minimalna długość dobiegu wynosi 100 m i zwiększa się o 300 - 350 m (wg [1] o 150 m), jeżeli hamulce są niesprawne.

Także analiza układu sił działających na samolot przy końcu dobiegu wskazuje na hamowanie kół toczącego się samolotu.

Układ hamowania kół samolotu An-2

Hamowanie odbywa się przez naciśnięcie odpowiedniej dźwigni na sterownicy. W większości samolotów An-2 dźwignia znajduje się na lewym wolancie, przy jego lewej rękojeści. W samolocie SP-FYM taką samą dźwignię zabudowano u producenta na prawym wolancie, przy prawej rękojeści. Po naciśnięciu którejkolwiek dźwigni sprężone powietrze jest doprowadzane z butli pokładowej przez zawór redukujący ciśnienie (PU-7) do instalacji hamulcowej. Zawory redukcyjne są zabudowane na kolumnach każdego wolantu. W kołach podwozia znajdują się dwustronne hamulce pneumatyczne. Moment tarcia przenoszą klocki rozpychane przez dętki hamulcowe. Po zwolnieniu dźwigni powietrze uchodzi do atmosfery w kabinie pilotów przez właściwy zawór redukcyjny. Każdą z dźwigni w naciśniętym położeniu można zablokować przy pomocy zapadki na wsporniku jej zaworu PU-7. W lotach szkolnych instruktor siedzący na prawym fotelu ma możliwość strawienia ciśnienia powietrza w układzie hamowania przyścisnięciem odhamowania na prawej rękojeści wolantu, pod warunkiem włączenia odpowiedniego AZS-u (przełącznika Automatycznego Zabezpieczenia Sieci) znajdującego

się na płycie środkowej tablicy przyrządów. Dla odhamowania podwozia obie dźwignie, na lewym i prawym wolancie muszą być zwolnione.

Na lewym pulpicie kabiny pilotów znajduje się dwuwskaznikowy manometr ciśnienia w butli sprężonego powietrza oraz w instalacji hamowania lewego i prawego koła. Bezpośrednio po wydarzeniu sprawdzono położenie dźwigni hamowania kół oraz wskazania manometrów. Żadna z dźwigni nie była zablokowana. W butli sprężonego powietrza pozostało ciśnienie 4 MPa, zaś manometr dwuwskaznikowy nie wykazywał ciśnienia w instalacji hamowania. Przed postawieniem samolotu na tylne koło sprawdzono położenie klocków hamulcowych. Oba koła były odhamowane. Wcześniej, w dokumentacji eksploatacyjnej samolotu usterki techniczne podwozia nie były zgłaszane. W świetle tego, **samoczynna blokada kół, bez ingerencji załogi przy lądowaniu samolotu jest mało prawdopodobna.**

3. WNIOSKI KOŃCOWE.

3.1. Ustalenia Komisji.

- a. Załoga samolotu posiadała właściwe uprawnienia do wykonania zaplanowanego lotu.
- b. Obaj piloci mieli aktualne badania lotniczo-lekarskie i ważną Kontrolę Wiadomości Teoretycznych.
- c. Ważność Kontroli Techniki Pilotażu drugiego pilota – określona zasadami obowiązującymi w Aeroklubu Lubelskim wygasła 1 czerwca 2014 roku.
- d. Dokumentacja samolotu była prowadzona prawidłowo. Samolot był obsługiwany i użytkowany zgodnie z obowiązującymi przepisami, a jego stan techniczny nie budził zastrzeżeń.
- e. Samolot był ubezpieczony.
- f. W czasie lotów była zapewniona łączność radiowa z kierownikiem lotów przebywającym na starcie oraz kierownikiem skoków przy kole spadochronowym.
- g. Pogoda nie miała wpływu na zdarzenie. Załoga lądowała dokładnie pod wiatr o prędkości około 5KT.

3.2 Przyczyny zdarzenia

Bezpośrednią przyczyną zdarzenia był błąd pilotażu przy lądowaniu samolotu.

Samolot po przyziemieniu odbił się od powierzchni lotniska, przelatując ponad 40 m do kolejnego przyziemienia w horyzontalnym położeniu kadłuba. Odbiciu się od ziemi sprzyjała konfiguracja samolotu: mały ciężar, skrajnie przednie położenie środka ciężkości i klapy wychylone do 15°.

Reakcja załogi była spóźniona. Analiza śladów na trawie i warunków kapotażu wskazuje na hamowanie kół podczas dobiegu samolotu, co mogło być bezpośrednią przyczyną podparcia się śmigłem. Usterka techniczna układu hamowania jest mało prawdopodobna. Na podstawie zeznań załogi, użycia hamulców nie można przypisać żadnemu z pilotów. Dowódca statku powietrznego był skoncentrowany na sterowaniu samolotem, w takim stopniu, że nie zauważył wspomagania w tym zakresie ze strony drugiego pilota. Drugi pilot pomagał „dociągnąć do siebie” wolant, a jednocześnie zdławił moc silnika, zwiększoną przez dowódcę po odbiciu się od ziemi samolotu. Jest to przykład braku współpracy załogi w kabinie. Drugi pilot nie ma uprawnień instruktora samolotowego, a jego interwencja bez wiedzy dowódcy nie była skuteczna. Przy dolnej decentracji samolotu zdławienie mocy zdejmuje moment zadzierający kadłub oraz obniża skuteczność steru wysokości opływanego przez strumień zaśmigłowy. W tej sytuacji odpowiedzialność dowódcy za wydarzenie rozmywa się. Niewłaściwa współpraca załogi objawiła się już przed startem. Drugi pilot był poza samolotem przy uruchamianiu silnika i zajęciem miejsc przez skoczków spadochronowych.

W samolocie SP-FYM dźwignia hamulca na prawym wolancie znajduje się blisko rękojeści, bliżej niż na wolancie lewym. Drugi pilot nie będący instruktorem zazwyczaj nie steruje samolotem. W określonej sytuacji - podczas lądowania - ściągając wolant „na siebie” może nieświadomie uchwycić jego rękojeść wraz z dźwigną hamulca. Komisja zwraca uwagę na taką możliwość, chociaż nie ma podstaw do sugestii, że miało to miejsce w omawianym zdarzeniu.

4. ZALECENIA PROFILAKTYCZNE

Komisja zaleca wprowadzenie obowiązku przeszkolenia osób wykonujących zadania na samolotach wielozałogowych w zakresie czynnika ludzkiego we współpracy załogi. Wymagania takie wraz z odpowiednimi procedurami powinny być wprowadzone do Instrukcji Operacyjnych ATO (organizacji ośrodka szkolenia)

5. ZAŁĄCZNIKI.

1. Album ilustracji
2. Dokumenty związane ze zdarzeniem.

KONIEC

Kierujący zespołem badawczym

podpis na oryginale

LITERATURA

- [1] M.N. Szifrin. Praktyczna aerodynamika samolotu An-2. Tłum. F. Borodzik. WKŁ Warszawa 1979