ANALIZA TRENDÓW ZDARZEŃ LOTNICZYCH Z WYKORZYSTANIEM INTEGRACJI BAZ DANYCH

MIKOŁAJ WYSOCKI, MACIEJ LASEK

Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa

e-mail: maciej.lasek@pw.edu.pl

W artykule – przy zastosowaniu metody integracji baz danych – poddano analizie zdarzenia lotnicze zgłoszone do PKBWL w latach 2003-2015. Zastosowanie metody integracji baz danych do analiz tego typu faktów odznacza się nowością oraz efektywnością, pozwoliło bowiem na porównywanie danych w szerokim zakresie. Im bardziej szczegółowe dane poddawano analizie, tym więcej można było wskazać przyczyn zdarzeń i ich powiązań z okolicznościami ich wystąpienia. Na podstawie autorskiego współczynnika ustalono, że można określić zgłaszalność zdarzeń, a także, że wzrost liczby wykonywanych lotów powodował coraz większą liczbę zdarzeń, co wydaje się zjawiskiem logicznym, ale zarazem nie powodował on wzrostu liczby ofiar śmiertelnych. Bardziej szczegółowej analizie poddano zdarzenia z udziałem szybowców. W tym obszarze udało się powiązać przyczyny zdarzenia z charakterem oraz fazą lotu. Potwierdzono, iż największa ich liczba występuje w fazie lądowania i ma związek z błędem człowieka.

1. Wprowadzenie

Każdy środek transportu stworzony przez człowieka wiąże się z ryzykiem wypadku. Lotnictwo od początku swojego istnienia nie było wyjątkiem. Natomiast to co je wyróżniało, to wysokie ryzyko śmierci lub obrażeń w przypadku awarii lub katastrofy. Dlatego od samego początku osoby oraz instytucje związane z lotnictwem za cel postawiły sobie niezawodność tego sposobu komunikacji. Jednym z przykładów dążenia do doskonałości jest bardzo wnikliwe badanie każdego incydentu, aby w pełni poznać jego przyczyny i w przyszłości starać się zapobiec podobnym sytuacjom.

Aby zrozumieć większą liczbę danych, konieczne jest odpowiednie podejście statystyczne. W poniższej pracy skupiono się na zbadaniu przydatności takiego podejścia w zidentyfikowaniu obszarów najbardziej niebezpiecznych a także w wyznaczeniu trendów zmian na przestrzeni lat 2003-2015.

Jako podstawę analizy wykorzystano dane zdarzeń zgłoszonych do Państwowej Komisji Badań Wypadków Lotniczych (PKBWL). Dodatkowe informacje dotyczące liczby wydanych licencji oraz liczby operacji lotniczych zostały pozyskane ze strony Urzędu Lotnictwa Cywilnego (ULC).

Przed wykonaniem analiz konieczne było przygotowanie danych. Kluczowe dla tej analizy parametry zostały wystandaryzowane, a łączenie danych odbyło się z wykorzystaniem zaawansowanych funkcji programu Microsoft Excel, co umożliwiło intuicyjną wizualizację wyników analiz.

Na początku skupiono się na ogólnej analizie zgłaszalności zdarzeń lotniczych. Porównano zmiany liczby zgłoszeń w różnych segmentach lotnictwa ze wzrostami liczby użytkowników przestrzeni powietrznej. Następnie skoncentrowano się na zdarzeniach lotnictwa General Aviation. Głównym celem było przeanalizowanie zdarzeń, których uczestnicy odnieśli rany lub ponieśli śmierć. W końcu dokonano szczegółowej interpretacji danych zawartych w raportach dotyczących zdarzeń z udziałem szybowców.

W pracy (na rysunkach i w tabelach) używane są powszechnie przyjęte skróty z języka angielskiego: CA – Commercial Aviation, GA – General Aviation, M – Military.

2. Statystyki ogólne

Przed szczegółową analizą poszczególnych czynników wpływających na zdarzenia lotnicze należy zwrócić uwagę na prawie nieprzerwany wzrost liczby zgłoszeń zdarzeń od początku rozpatrywanego okresu. W porównaniu z rokiem 2003 liczba napływających zgłoszeń wzrosła 10-krotnie. W zdecydowanej większości wzrost dotyczy zgłoszeń z segmentu lotnictwa komercyjnego – w ciągu 12 lat wzrost o ponad 4400%. Wzrost liczby zgłoszeń był również zauważalny w wypadku General Aviation, jednak był on zdecydowanie mniejszy – 206% w tym samym okresie (rys. 1). Dokładne wartości przedstawione zostały w tabeli 1.

Rys. 1. Liczba zdarzeń w latach (rok 2016 – dane do września)

Tabela 1. Liczba zdarzeń w latach

Rok	CA	GA	M	Razem
2003	35	169	–	204
2004	83	231	1	315
2005	135	178	2	315
2006	187	193	4	384
2007	336	199	11	546
2008	715	226	51	992
2009	766	299	26	1091
2010	1076	326	56	1458
2011	1138	397	68	1603
2012	1305	385	44	1734
2013	1552	384	49	1985
2014	1759	444	66	2269
2015	1984	614	89	2687
2016	1599	517	54	2170

Prezentując dane podług kryterium miesiąca ich zgłoszenia zgodnie z miesiącem zgłoszenia, możemy zauważyć, że znacznie więcej incydentów przypada na miesiące letnie (rys. 2).

Ta tendencja jest szczególnie widoczna w wypadku operacji General Aviation (rys. 3a). Aż 43% zdarzeń zgłoszonych w latach 2003-2016 miało miejsce w III kwartale, co przypada na wakacyjny szczyt sezonu. Niewiele mniej – 37% zgłoszeń dotyczyło kwartału II. Na kwartał I

Rys. 2. Liczba zdarzeń miesięcznie (rok 2016 – dane do września)

oraz IV przypada w sumie jedynie 20% zgłoszeń z tego segmentu, odpowiednio 7% oraz 13%. W okresie jesienno-zimowym warunki pogodowe często uniemożliwiają loty mniejszych samolotów. Dodatkowo niskie temperatury powodują, że warunki o tej porze roku nie są komfortowe dla pilotów rekreacyjnych (tabela 2).

Wpływ pory roku jest mniej zauważalny w wypadku lotnictwa komercyjnego. Również w III kwartale liczba zgłoszeń jest największa z tego segmentu – 31%. Można to powiązać ze zwiększoną liczbą operacji czarterowych odbywających się w tym czasie obok połączeń regularnych.

Warto zwrócić również uwagę na dzień, w którym dochodzi do zgłaszanych zdarzeń (rys. 3b). Zdecydowana większość zdarzeń GA dotyczy dni wolnych od pracy – sobót oraz niedziel. Natomiast w wypadku lotnictwa komercyjnego w weekendy zauważyć można spadek zdarzeń, który można powiązać ze zmniejszoną intensywnością operacji regularnych w te dni (tabela 3).

Rys. 3. Liczba zdarzeń: (a) w kwartałach, (b) w dniach tygodnia

Tabela 2. Liczba zdarzeń w kwartałach

Kwartał	CA	GA	M	%CA	%GA
I	2603	342	108	21%	7%
II	3511	1706	181	28%	37%
III	3908	1941	155	31%	43%
IV	2649	575	78	21%	13%

Tabela 3. Liczba zdarzeń w dniach tygodnia

Dzień tyg.	CA	GA	Suma
Poniedziałek	1868	406	2274
Wtorek	1874	475	2349
Środa	1834	464	2298
Czwartek	1935	473	2408
Piątek	1984	577	2561
Sobota	1489	1148	2637
Niedziela	1687	1021	2708

Wzrostu zgłoszeń każdego z poszczególnych segmentów nie możemy rozpatrywać w oderwaniu od rosnącej intensywności użycia przestrzeni powietrznej. Dla segmentu Genral Aviation liczbą, do której możemy się odnieść, aby móc analizować ten parametr, jest liczba licencji PPL

wydanym przez ULC, natomiast dla lotnictwa komercyjnego liczba wykonanych operacji w roku kalendarzowym.

Korzystając z dostępnych danych o liczbie ważnych licencji (tabela 4), można zauważyć, że liczba licencji PPL w okresie od 2006 do 2019 wzrosła o 292%, natomiast liczba licencji rekreacyjnych PPL oraz SPL tylko w okresie od 2013 do 2019 aż o 123%. Z poniższych danych można wyciągnąć wniosek, że ruch rekreacyjny w polskiej przestrzeni powietrznej w 2019 roku był ponad dwukrotnie większy niż 6 lat wcześniej (rys. 4).

Tabela 4. Liczba licencji – stan na 31 XII 2019

Rok	ATPL	CPL	PPL	SPL	Razem
2006	1121	1204	1328	0	3653
2007	1380	1399	1703	0	4482
2008	1521	1683	2173	0	5377
2009	1075	1320	2254	0	4649
2010	951	1079	2063	0	4093
2011	977	1187	2553	0	4717
2012	995	1286	2951	0	5232
2013	997	1326	3208	569	6100
2014	1006	1375	3502	1553	7436
2015	1017	1438	3689	2468	8612
2016	1035	1508	3952	2657	9152
2017	1123	1663	4246	2845	9877
2018	1194	1805	4853	3051	10 903
2019	1279	1958	5207	3220	11 664

Rys. 4. Liczba ważnych licencji – stan na 31 XII 2019

W wypadku lotnictwa komercyjnego również zauważalny jest stały wzrost wykorzystania przestrzeni powietrznej (tabela 5). Liczba operacji lotniczych od 2003 do 2015 wzrosła o 37%, a od 2015 do 2019 ten wzrost wyniósł aż 41% (rys. 5). Wskazuje to na wysoką dynamikę rozwoju tego sektora w tym okresie

Tabela 5. Liczba komercyjnych operacji lotniczych

Rok	Liczba operacji
2003	178 036
2004	179 667
2005	204 111
2006	236 746
2007	246 759
2008	257 715
2009	237 858
2010	240 691
2011	246 679
2012	276 696
2013	263 073
2014	268 924
2015	283 924
2016	309 663
2017	341 199
2018	381 547
2019	400 213

Rys. 5. Liczba komercyjnych operacji lotniczych

Aby ocenić, czy proporcjonalnie więcej zdarzeń jest zgłaszanych, należy wprowadzić wskaźnik zgłaszalności. Dla GA jest to liczba zgłoszeń podzielona przez liczbę licencji PPL z poprzedniego roku (ponieważ liczba oddaje stan na koniec roku). Aby analiza była wiarygodna, z liczby zdarzeń wyłączono tylko te, które dotyczyły samolotów (tabela 6).

Korzystając z powyższych danych, można zauważyć, że liczba licencji od roku 2006 do 2014 wzrosła o 178%. W tym samym czasie od 2007 do 2015 roku liczba zgłoszonych zdarzeń wzrosła o 228%. Oznacza to, że liczba zgłoszeń na licencji PPL wzrosła pod koniec tego okresu do 0,1396 w porównaniu do 0,1122 na jego początku (wzrost o 24%) (tabela 7). Pozwala to wywnioskować, że wzrost liczby zgłoszeń powodowany jest głównie wzrostem liczby użytkowników przestrzeni powietrznej, a w mniejszym stopniu wzrostem zgłaszalności zdarzeń.

Tabela 6. Liczba zgłoszeń zdarzeń GA – tylko samoloty

Rok	Liczba zgłoszeń
2003	153
2004	183
2005	136
2006	141
2007	149
2008	148
2009	217
2010	255
2011	281
2012	271
2013	283
2014	343
2015	489
2016	426

Tabela 7. Wskaźnik liczby zgłoszeń zdarzeń samolotów GA na licencję PPL

Rok	Zgłoszenia na licencję PPL
2007	0,1122
2008	0,0869
2009	0,0999
2010	0,1131
2011	0,1362
2012	0,1061
2013	0,0959
2014	0,1069
2015	0,1396

Tabela 8. Wskaźnik zgłoszeń CA na operację

Rok	Zgłoszenia na operację
2003	0,000197
2004	0,000462
2005	0,000661
2006	0,000790
2007	0,001362
2008	0,002774
2009	0,003220
2010	0,004470
2011	0,004613
2012	0,004716
2013	0,005900
2014	0,006541
2015	0,006988

W wypadku zdarzeń związanych z lotnictwem komercyjnym można stwierdzić, że główną przyczyną wzrostu jest wzrost zgłaszalności (tabela 8). Od 2003 do 2015 roku liczba operacji wzrosła o 59%. W tym samym czasie liczba zgłoszeń dotyczących CA wzrosła ponad 56-krotnie. Powoduje to, że wskaźnik zgłoszeń na operację wzrósł z 0,000197, aż do 0,006988, tj. ponad 35-krotnie (rys. 6).

Rys. 6. Zmiana wskaźników zgłaszalności w czasie

3. Statystyki zdarzeń – General Aviation

Pomimo że zgłoszenia lotnictwa komercyjnego stanowią zdecydowaną większość napływających zgłoszeń, to jednak – jak wynika z poniższych statystyk – za większość zdarzeń z udziałem osób poszkodowanych odpowiada segment GA (rys. 7, tabela 9).

Rys. 7. Liczba: (a) ofiar śmiertelnych, (b) osób rannych (rok 2016 – dane do września)

W przypadku lotnictwa GA w większości zdarzeń, których skutkiem jest śmierć lub rany poszkodowanych, statkiem powietrznym jest samolot (rys. 8). Udział tego rodzaju maszyn to aż 83% wszystkich zdarzeń. Możemy również zauważyć stały wzrost liczby zdarzeń z osobami

Tabela 9. Zestawienie osób poszkodowanych (rok 2016 – dane do września)

Rok	CA		GA		Razem	
	Ofiary	Ranni	Ofiary	Ranni	Ofiary	Ranni
2003	2	0	13	27	15	27
2004	0	0	21	50	21	50
2005	1	1	11	30	12	31
2006	0	0	19	48	19	48
2007	0	1	22	48	22	49
2008	19	0	6	34	25	34
2009	2	1	18	53	20	54
2010	0	1	15	32	15	33
2011	0	2	41	46	41	48
2012	0	4	17	54	17	58
2013	2	7	22	69	24	76
2014	0	3	27	71	27	74
2015	1	6	17	99	18	105
2016	0	3	12	64	12	67

Rys. 8. Udział procentowy statków powietrznych – zdarzenia GA z poszkodowanymi

poszkodowanymi oraz osób rannych (rys. 9), jednak liczba ofiar śmiertelnych oscyluje wokół stałej wartości. Oznacza to, że pomimo większej liczby wydanych licencji oraz większej liczby zdarzeń z osobami poszkodowanymi, wypadki te są mniej tragiczne w skutkach. Wzrost liczby osób rannych wskazuje, że bardziej prawdopodobne podczas wypadku w czasie lotu GA staje się odniesienie obrażeń niż śmierć.

Można stwierdzić, że samoloty użytkowane podczas lotów GA stają się coraz bezpieczniejsze – podczas wypadków przeżywalność jest większa.

Po analizie 132 zdarzeń GA z poszkodowanymi, dla których wprowadzone zostały komentarze widać, że do większości wypadków dochodzi podczas lądowań, tak rutynowych, jak i awaryjnych (rys. 10a). Co jest warte uwagi, drugim najczęściej występującym komentarzem jest utrata noszenia, która wynika z przekroczenia krytycznego kąta natarcia. Analizując komentarze, można

Rys. 9. Liczba zdarzeń samolotów GA z uszkodzonymi (rok 2016 – dane do września)

Rys. 10. Adnotacje z bazy

również podzielić zdarzenia na te spowodowane poprzez błąd pilota, awarie oraz warunki pogodowe. Z tych statystyk wyraźnie widać, że większość zdarzeń spowodowana jest przez błąd dowódcy statku powietrznego (rys. 10b).

Zgodnie z powyższymi danymi można stwierdzić, że dominującą przyczyną zdarzeń samolotów GA jest błąd pilota. Warty uwagi jest także ciągły wzrost udziału procentowego tej przyczyny, przez co awaryjność maszyn jest coraz mniej prawdopodobną przyczyną zdarzenia.

4. Wypadki szybowcowe

Ogólne statystyki wypadków szybowcowych w większości odpowiadają całości lotnictwa GA. Większość wypadków ma miejsce w drugim oraz trzecim kwartale podczas weekendów (rys. 11), a większość incydentów spowodowana jest przez błąd pilota (rys. 12). Warto natomiast zwrócić

uwagę, na to, że liczba wypadków rocznie oscyluje wokół zbliżonych wartości, mimo ciągłego wzrostu liczby pilotów (rys. 13).

Rys. 11. Liczba wypadków szybowcowych: (a) w kwartale, (b) w dniach tygodnia

Rys. 12. (a) Adnotacje w czasie. (b) Adnotacje w czasie – udział względny

Rys. 13. Liczba wypadków szybowcowych w latach (rok 2016 – dane do września)

Dokładnie przeanalizowano 32 zdarzenia lotnicze dotyczące szybowców, co do których raporty były dostępne. Z przedstawionych poniżej statystyk wynika, że większość wypadków szybowcowych zachodzi podczas lotów szkoleniowych lub laszujących (treningowych). Często piloci są pierwszy raz stawiani wobec nowej sytuacji, wykonując pierwszy lot nową maszyną, albo pierwsze lądowanie w terenie przygodnym, popełniając przy tym błędy prowadzące do wypadku.

Etapem lotu związanym z podwyższonym ryzykiem jest lądowanie w terenie przygodnym. Prawie połowa z analizowanych raportów opisywała zdarzenia zaistniałe właśnie w tej fazie lotu. Lądowanie w terenie nieprzystosowanym do operacji niesie ze sobą wiele zagrożeń związanych z ukształtowaniem terenu, roślinnością oraz ewentualnymi przeszkodami. Kluczowe dla bezpiecznego przeprowadzenia tego manewru jest wybór bezpiecznego miejsca z odpowiednim wyprzedzeniem, a potem przeprowadzenie manewru. Ponieważ nie jest to standardowa sytuacja, można zauważyć, że szczególnie piloci szkolący się popełniają błędy w tej fazie lotu. Warto również zwrócić uwagę, że nie na wszystkie zdarzenia piloci mieli wpływ. Zdarzają się sytuacje, kiedy podczas lądowania w terenie przygodnym ukształtowanie terenu kryje niebezpieczeństwa niemożliwe do zauważenia z powietrza.

W wypadku lotnictwa szybowcowego zauważyć należy, że za znaczny odsetek analizowanych zdarzeń odpowiadają piloci. Aż 27 z 32 (85%) zdarzeń było spowodowane błędem pilota. 22 z 27 (81%) wypadków wydarzyło się podczas lotów szkoleniowych lub laszujących, większość z tych zdarzeń (17) miała miejsce podczas lądowania (rys. 14). Z analizowanych materiałów wynika, że tylko po 1 wypadku przypisano go wadzie materiałowej oraz wadliwie wykonanej naprawie.

Rys. 14. Etap lotu zdarzenia z podziałem na kategorie lotu

Z poniższych danych można także wywnioskować, że krytycznymi momentami lotu szybowcowego jest start oraz lądowanie. Tylko 1 z 32 wypadków został przypisany do fazy przelotu (rys. 15 i 16).

Większość analizowanych incydentów powodowała lekkie (tj. rozklejenia materiałów, drobne pęknięcia, wgniecenia) lub poważne uszkodzenia szybowców (oderwanie elementów od konstrukcji). Według analizowanych danych całkowite zniszczenie konstrukcji szybowca lub brak uszkodzeń są mało prawdopodobne (rys. 17).

Na rys. 18 pokazano liczbę poszkodowanych w wypadkach szybowcowych. Ze względu na małą liczbę raportów dotyczących zdarzeń, w których osoby z załogi odniosły obrażenia lub poniosły śmierć, nie udało się ocenić wpływu poszczególnych analizowanych czynników na szanse przeżycia.

Rys. 15. Faza lotu

Rys. 16. Przyczyna zdarzenia z podziałem na kategorie lotu

Rys. 17. Przyczyny zdarzeń

Rys. 18. Liczba poszkodowanych w wypadkach szybowcowych (rok 2016 – dane do września)

5. Wnioski

Dzięki powyższemu przedstawieniu danych zawartych w bazach oraz raportach PKBWL można sformułować spostrzeżenia niemożliwe do zauważenia bez odpowiedniej analizy. Każda z trzech części powyższej analizy pozwala skupić się na innym segmencie lotnictwa.

Z zaprezentowanych statystyk wynika – po pierwsze – że wciąż istnieje potencjał na zwiększenie zgłaszalności zdarzeń dotyczących lotnictwa GA. Na przestrzeni analizowanych 12 lat wzrost liczby zgłoszeń jest zbliżony do wzrostu liczby wydanych licencji, co pozwala wnioskować, że użytkownicy statków powietrznych nie zgłaszają większej części zdarzeń, a ta liczba rośnie wraz z postępującą popularyzacją lotnictwa rekreacyjnego i coraz większą liczbą pilotów.

Po drugie – optymistycznym wnioskiem płynącym z analizy jest podwyższenie przeżywalności wypadków samolotów GA. W przedstawionym okresie wyraźny jest wzrost zdarzeń, w którym biorą udział osoby poszkodowane. Jednak mimo to liczba ofiar śmiertelnych tych wypadków oscyluje wokół stałej wartości. W tym samym czasie liczba osób rannych w analizowanych zdarzeniach rośnie około 3-krotnie, potwierdzając tym samym większą liczbę osób wykonujących loty. Taką zmianę można powiązać ze stosowaniem coraz bardziej zaawansowanych rozwiązań konstrukcyjnych w nowych maszynach, które zwiększają szanse przeżycia w razie wypadku.

Po trzecie – analiza wypadków szybowcowych dostarcza cennych informacji o tym, kiedy najczęściej dochodzi do wypadków. Statystyki wskazują na lądowania podczas lotów szkoleniowych jako na najbardziej prawdopodobne warunki zdarzenia lotniczego. Ważne jest również spostrzeżenie, że większość wypadków zachodzi podczas lądowania w terenie przygodnym. Powstaje pytanie, czy nie należałoby więcej uwagi skupić na tym manewrze podczas szkolenia, aby pierwsze samodzielne lądowanie poza lotniskiem nie było dla pilota pierwszym praktycznym podejściem do tego manewru.

Zaprezentowana powyżej metoda wykazuje dalszy potencjał badawczy. Dzięki poszerzeniu skali, poszerzenia tematyki oraz zwiększenia szczegółowości badań można tworzyć bardziej zaawansowane wskaźniki oraz próbować szukać powiązań między różnymi czynnikami, co nie było możliwe do wykonania na analizowanej tu próbie. Zidentyfikowanie obszarów, które statystycznie okażą się najbardziej niebezpieczne może pomóc zrozumieć kształtujące się trendy oraz spróbować wyeliminować przyczyny najczęstszych przyczyn zdarzeń. Zastosowanie tej metody wydaje się szczególnie produktywne dla segmentu GA, ponieważ tam dochodzi do największej liczby zdarzeń z największą liczbą poszkodowanych. Powiązanie różnych czynników może wskazać pewne wspólne przyczyny, które nie mogą być zidentyfikowane przy indywidualnym badaniu każdego zdarzenia.

Bibliografia

1. Baza PKBWL od 2003 do 2015
2. <https://www.ulc.gov.pl/pl/statystyki-analizy/statystyki-i-analizy-rynku-transportu-lotniczego>
3. <https://www.ulc.gov.pl/pl/personel-lotniczy/statystyki/1315-statystyki-personelu-lotniczego>

Analysis of trends of airplane situations by a database integration method

Using a database integration method, incidents reported to National Commission for the Investigation of Aircraft Accidents between 2003 and 2015 were analysed. The mentioned method is characterised by its novelty, and however, it is not widely used, it is very effective and it allows one to combine and compare a wide range of data. The more detailed data were analysed, the more causes could be linked with circumstances of incidents. It was determined that it was possible to assess incident notification factor by making use of the original coefficient. What is more, it was confirmed that with an increased number of flights, the amount of notified incidents increased as well, what seems natural. However, at the same time, the number of fatalities remained about constant. Last but not least, incidents with gliders were meticulously analysed. It was possible to combine causes of accidents with the purpose and phase of flight. It was confirmed that the majority of incidents occurred during landing and it was related to human error.