

PROJEKT KONCEPCYJNY URZĄDZENIA DO RATOWNICTWA POWIETRZNEGO Z TRUDNODOSTĘPNYCH OBIEKTÓW

ANDRZEJ GRONCZEWSKI, KATARZYNA STRZELECKA

Politechnika Wrocławska, Katedra Kriogeniki i Inżynierii Lotniczej, Wrocław

e-mail: andrzej.gronczewski@pwr.edu.pl; katarzyna.strzelecka@pwr.edu.pl

Naruszenia w zakresie bezpieczeństwa prowadzą do wypadków, które powodują straty materialne, ale przede wszystkim obrażenia lub śmierć ludzi. Współczesne obiekty infrastruktury budowlanej wyposażono w liczne rozwiązania z zakresu bezpieczeństwa czynnego, a także bezpieczeństwa biernego. Mimo tego nie ma możliwości całkowitego wyeliminowania zagrożeń dla ludzkiego zdrowia i życia. Można je zminimalizować dzięki szybkiej i skutecznej ewakuacji ludzi z miejsc zagrożonych. Do ratowania ludzi z obiektów trudnodostępnych proponuje się wykorzystanie statku powietrznego (wiroplata) pionowego startu i lądowania. Idea ewakuacji ludzi z obiektów trudnodostępnych, w szczególności wysokich budynków, oparta będzie na zastosowaniu latającego, bezzałogowego wiropłata, sterowanego zdalnie przez operatora-ratownika. Przewiduje się, że urządzenie to będzie zdolne do ewakuacji do czterech osób jednocześnie. Statek latający wyposażony będzie w detektory pozwalające na lokalizację ludzi w warunkach zerowej widoczności.

1. Wprowadzenie

We współczesnym świecie występuje wiele zagrożeń dla bezpieczeństwa ludzi. Sytuacje, których następstwem jest ryzyko utraty zdrowia lub nawet życia ludzi, wynikają z wielu różnych przyczyn. Można tu wyróżnić m.in. wypadki związane z transportem lub katastrofy budowlane. Współczesne systemy transportowe, w tym w szczególności lotnicze, cechuje wysoki poziom bezpieczeństwa.

Ważnym źródłem zagrożenia bezpieczeństwa są katastrofy budowlane. Wynikają one z różnych przyczyn, wśród których można wymienić m.in. błędy projektowe, konstrukcyjne lub technologiczne, niewłaściwą eksploatację, w tym przekroczenie obciążeń dopuszczalnych, klęski żywiołowe, katastrofy komunikacyjne, terroryzm. Wśród wszystkich niekorzystnych zdarzeń znaczny odsetek stanowią te, po zaistnieniu których zachodzi konieczność szybkiej, bezpiecznej i skutecznej ewakuacji ludzi. Nierzadko, w przypadku gdy wydarzy się katastrofa, zagrożone osoby znajdują się w miejscach trudnodostępnych. Taka sytuacja nastręcza szczególne trudności w bezpiecznym opuszczeniu miejsca niebezpiecznego i w wielu przypadkach samodzielna ewakuacja jest niemożliwa. Wówczas konieczna jest pomoc służb ratowniczych.

Analiza wyników badań katastrof komunikacyjnych i budowlanych wskazuje, że w znaczącej liczbie zdarzeń możliwe byłoby ograniczenie strat w ludziach, a czasami uratowanie wszystkich uczestników zdarzenia, gdyby istniały bezpieczne drogi pozwalające na samodzielne opuszczenie niebezpiecznego miejsca, albo gdyby służby ratownicze dysponowały wyposażeniem pozwalającym na szybkie dotarcie do poszkodowanych oraz ich bezpieczną ewakuację z miejsca wypadku. Nierzadko czas dotarcia do ludzi wymagających pomocy jest głównym czynnikiem decydującym o stopniu uszczerbku na zdrowiu lub nawet o przeżyciu. Niestety wielokrotnie okazywało się, że drogi ewakuacyjne były całkowicie niedostępne, zaś służby ratownicze nie dysponowały odpowiednim sprzętem pozwalającym na dotarcie do ofiar katastrofy lub też wyposażenie ratownicze było niewystarczające do skutecznej pomocy poszkodowanym. Szczególne trudności

występują przy konieczności ewakuacji ludzi z obiektów trudnodostępnych. Do takich obiektów możemy zaliczyć bardzo wysokie budynki lub miejsca położone w terenie, którego ukształtowanie uniemożliwia użycie tradycyjnych środków ewakuacji (np. tereny górskie lub akweny powstałe w wyniku powodzi albo tsunami). Na szczególną uwagę zasługują problemy związane z eksploatacją bardzo wysokich budynków, których coraz więcej pojawia się na świecie i które budowane są także w Polsce. Projektanci i konstruktorzy, przewidując potencjalną konieczność awaryjnego opuszczenia budynku, opracowują sposoby ewakuacji ludzi w przypadkach katastroficznych (np. pożar). Najczęściej są to rozwiązania pasywne, czyli takie, które mają zabezpieczyć samodzielną ewakuację użytkowników budynku. Tego typu rozwiązania podlegają jednak znacznym ograniczeniom i zdarza się, że drogi ewakuacyjne są całkowicie niedostępne, np. ze względu na szczególnie rozległy pożar. Wówczas jedyną szansę na bezpieczną ewakuację mogą zapewnić służby ratownicze. Jednak w przypadku bardzo wysokich budynków służby ratownicze nie dysponują naziemnymi środkami pozwalającymi na ewakuację ludzi z wyższych pięter. W takiej sytuacji możliwości udzielenia pomocy ograniczają się do wykorzystania śmigłowców. Bliskość budynku i związane z tym turbulencje oraz – w przypadku pożaru – zadymienie, powodują szczególne trudności w pilotażu śmigłowca, zwłaszcza, że od pilota wymaga się precyzyjnego ustawienia właściwej pozycji maszyny. Ponadto ratownik opuszczany na linie, podwieszony pod śmigłowcem, może podjąć zaledwie jedną osobą. Z kolei lądowanie śmigłowca ratowniczego na dachu wysokiego budynku często jest niemożliwe ze względu na zabudowane na dachu urządzenia infrastruktury budynku i różnego rodzaju anteny, lub np. ze względu na ograniczenia dopuszczalnych obciążeń dachu.

Świadomość nieuchronności występowania niekorzystnych zdarzeń, jakimi są różnego rodzaju wypadki, powoduje konieczność dalszych, intensywnych prac nad poprawą bezpieczeństwa. Wysiłki naukowców i inżynierów zmierzają do maksymalnego zmniejszenia liczby katastrof, ale także niebagatelną rolę przypisuje się wdrażaniu przedsięwzięć mających na celu minimalizację skutków nieszczęśliwych zdarzeń. Analizy zaistniałych zdarzeń wskazują jednoznacznie, że w dalszym ciągu występują znaczne niedostatki w przypadku konieczności ewakuacji ludzi z obiektów trudnodostępnych (w tym z budynków wysokościowych). W związku z tym autorzy publikacji podjęli się opracowania koncepcji statku latającego dedykowanego do ewakuacji ludzi z obiektów trudnodostępnych. Statek latający do ratownictwa powietrznego (SLdRP) będzie platformą latającą dysponującą możliwością lotu pionowego, zdolną do transportu na pokładzie do 4 osób jednocześnie. SLdRP będzie sterowany przez operatora przebywającego na pokładzie, przewiduje się także wariant akcji ratowniczej przy sterowaniu zdalnym.

2. Zagrożenia bezpieczeństwa związane z obiektami trudnodostępными

2.1. Wprowadzenie

Najskuteczniejszym sposobem na ograniczenie skutków wypadków (obrażeń lub śmierci ludzi oraz strat materialnych) jest doskonalenie istniejących lub wprowadzanie nowych rozwiązań z zakresu bezpieczeństwa czynnego. Ten rodzaj przedsięwzięć zapewnia zminimalizowanie liczby wypadków i przez to zredukowanie ich nierzadko dramatycznych skutków. Wprowadzanie nowych rozwiązań, które mają zapobiegać występowaniu wypadków, wymaga głębokich analiz prowadzących do identyfikacji potencjalnych zagrożeń. Doświadczenie wskazuje jednak, że nie udaje się przewidzieć wszystkich sytuacji i czynników prowadzących do niekorzystnych zdarzeń, zwłaszcza że owe zdarzenia są najczęściej efektem zaistnienia co najmniej kilku nieprawidłowości jednocześnie. Świadomość nieuchronności występowania niepożądanych zdarzeń sprawia, że zagadnienie podwyższania bezpieczeństwa czynnego jest wciąż aktualne, ale jednocześnie skłania do podejmowania wysiłków naukowców i inżynierów dotyczących aplikacji nowoczesnych rozwiązań w celu podwyższenia bezpieczeństwa biernego. Przedsięwzięcia bezpieczeństwa biernego polegają na wprowadzaniu takich rozwiązań, które umożliwią zminimalizowanie skutków tych

wypadków, które się już wydarzyły, zwłaszcza w odniesieniu do zdrowia i życia ludzi – uczestników wypadku. Wśród rozlicznych zagadnień niezbędnych do rozwiązania w celu ochrony ludzkiego życia i zdrowia, niebagatelne znaczenie ma możliwość ewakuacji osób z miejsc wypadku, zwłaszcza w tych przypadkach, kiedy przebywanie w tym miejscu po zaistnieniu niekorzystnego zdarzenia jest szczególnie niebezpieczne. Problemy z zapewnieniem skutecznego i bezpiecznego wyprowadzenia ludzi z miejsca stwarzającego zagrożenie narastają wówczas, kiedy niepożądane zdarzenie występuje w miejscach trudnodostępnych. Do takich miejsc w szczególności można zaliczyć infrastrukturę budowlaną, zwłaszcza tzw. „wysokie budynki”. W tym przypadku do rozstrzygnięcia pozostaje kwestia, czy wypadki, w efekcie których konieczna będzie ewakuacja ludzi, zdarzają się na tyle często, aby celowym było poszukiwanie nowych sposobów umożliwiających skuteczne opuszczenie budynku.

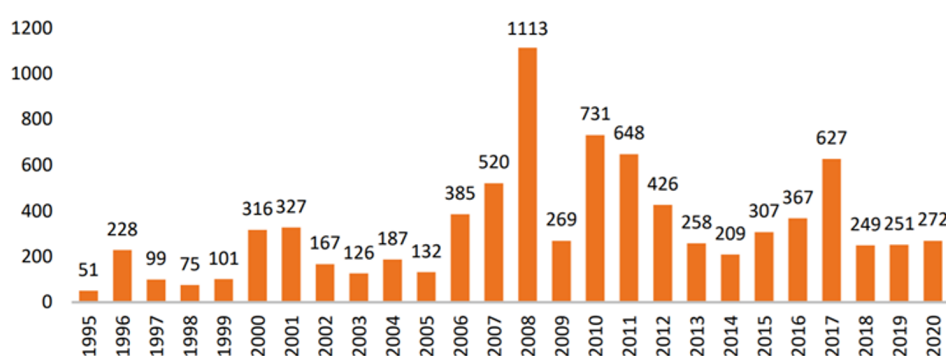
Prawo budowlane definiuje pojęcie katastrofy budowlanej w następujący sposób – „...jest to niezamierzone, gwałtowne zniszczenie obiektu budowlanego lub jego części, a także konstrukcyjnych elementów rusztowań, elementów formujących, ścianek szczelnych i obudowy wykopów” [1].

W przypadku katastrof, w zależności od ich głównych przyczyn, wyróżnia się dwie kategorie:

- Kategoria I. Katastrofy nie wynikające ze zdarzeń losowych.
- Kategoria II. Katastrofy wynikające ze zdarzeń losowych (powódzie, silne wiatry, burze z piorunami, obfity śnieg, wybuch gazu, uderzenie samochodu lub innego pojazdu, itp.).

Analizując statystyki w zakresie katastrof budowlanych zaistniałych na terenie Polski, można zauważyć, że nie są to zdarzenia jednostkowe i w analizowanym okresie (25 lat) wydarzyły się 8432 katastrofy, co daje średnią około 337 zdarzeń tego typu rocznie (rys. 1). Dane te jednoznacznie wskazują, że takie zdarzenia nie są czymś wyjątkowo rzadkim. Większość tych wypadków dotyczyła wprawdzie niewielkich pod względem rozmiarów obiektów infrastruktury budowlanej, jednak doświadczenia pokazują, że tego typu zdarzenia dotyczą także budynków o znacznych wysokościach. Należy też przypuszczać, że w przyszłości, mimo ciągłego procesu udoskonalania w zakresie bezpieczeństwa eksploatacji wysokich budynków, przy dynamicznym wzroście liczby wysokich budynków, ryzyko zaistnienia katastrofy w dalszym ciągu jest realne.

Katastrofy budowlane w latach 1995 - 2020



Rys. 1. Liczba katastrof budowlanych w Polsce w latach 1995-2020 [2]

2.2. Budynki wysokościowe

Na świecie istnieją i wciąż powstają budynki o znacznej wysokości. Rozwój wielkich aglomeracji miejskich przy ograniczonej architektoniczno-urbanistycznej przestrzeni powoduje konieczność budowania coraz wyższych budynków. Najwyższy z nich wybudowany w Dubaju osiągnął wysokość 828 m, zaś aż szesnaście innych budowli ma wysokość przekraczającą 400 m (tabela 1).

Tabela 1. Najwyższe budynki na świecie [3]

Budynek	Państwo	Miasto	Wys. [m]	Budynek	Państwo	Miasto	Wys. [m]
Brudź Chalifa	Zjednoczone Emiraty Arabskie	Dubaj	828	Internantional Cemmerce Center	Chiny	Honkong	484
Shanghaj Tower	Chiny	Sznaghaj	632	Central Park Tower	USA	Nowy Jork	472
Abradż al.-Bajt	Arabia Saudyjska	Mekka	601	Łacha Center	Rosja	Petersburg	462
Ping An Finance Center	Chiny	Shenzhen	599	Landmark	Wietnam	Ho chi Minh	461,2
China 117 Tower	Chiny	Tiencin	596,6	Changsha IFS Tower	Chiny	Changsha	452,1
Lotte World Tower	Korea Południowa	Seul	554,7	Petronas Towers 1	Malezja	Kuala Lumpur	451,9
1 World Trade Center	USA	Nowy Jork	541,3	Petronas Towers 2	Malezja	Kuala Lumpur	451,9
Guangzhou CTF	Chiny	Kanton	530	Greenland Sqare Zifeng Tower	Chiny	Nankin	450
Tianjin Chow Tai Fook	Chiny	Tiencin	530	Suzhou IFS	Chiny	Suzhou	450
China Zun	Chiny	Pekin	528	The Exchange 106	Malezja	Kuala Lumpur	445,5
Taipei 101	Tajwan	Taipei	509	Willis Tower	USA	Chicago	442,1
Shanghai World Financial Center	Chiny	Szanghaj	492,1	KK100	Chiny	Shenzhen	441,9

Tabela 2. Liczba budynków o wysokości powyżej 100 m [4]

Miasto	Państwo	Liczba budynków	Miasto	Państwo	Liczba budynków
Nowy Jork	USA	765	Guangzhou	Chiny	214
Szanghaj	Chiny	704	Kuala Lumpur	Malezja	210
Hong Kong	Chiny	659	Jakarta	Indonezja	174
Dubai	Zjednoczone Emiraty Arabskie	371	Panama City	Panama	165
Bangkok	Tajlandia	365	Seul	Korea Płd.	164
Tokio	Japonia	363	Mumbar	Indie	155
Chicago	USA	342	Moskwa	Rosja	145
Toronto	Kanada	249	Stambuł	Turcja	127
Kanton	Chiny	214	Sydney	Australia	123

Na podstawie wniosków płynących z analiz katastrof można zauważyć, że w niektórych przypadkach już w budynkach o wysokości przekraczającej 30 m napotymano poważne utrudnienia podczas ewakuacji ludzi. Jeśli przyjmiemy, że budowle powyżej 100 m są konstrukcjami wysoko-

ściowymi, wówczas należy sobie uświadomić, że w niektórych miastach świata tego typu obiektów jest nawet kilkaset (tabela 2). Łącznie na całym świecie zbudowano kilka tysięcy budynków, których wysokość przekracza 100 m.

W ostatnich latach w Polsce pojawiła się znaczna liczba budowli, które można zaliczyć do tzw. „drapaczy chmur”. Dane wskazują, że liczba budynków o znacznej wysokości wciąż rośnie i należy przypuszczać, iż proces ten będzie trwał nadal. Jednocześnie należy liczyć się z tym, że wraz ze wzrostem liczby tzw. „drapaczy chmur” wzrasta prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku.

W Polsce rozmiar budynków zaliczanych do tzw. „wysokich” wyznaczany jest poprzez zasięg drabin mechanicznych będących na wyposażeniu służb ratowniczych – głównie Państwowej Straży Pożarnej (PSP). Większość jednostek PSP posiada na wyposażeniu drabiny o wysokość nieprzekraczającą 30 m. Najwyższe drabiny nie przekraczają 42 m zasięgu, przy czym do dyspozycji są jedynie dwa tego typu urządzenia.

Ostatecznie w naszym kraju przyjęto następujące nazewnictwo:

- budynki wysokie, jeśli $H = (25 \div 55)$ m,
- budynki wysokościowe, jeśli $H > 55$ m.

Tabela 3. Najwyższe budynki w Polsce [5]

Budynek	Miasto	Wys. [m]	Budynek	Miasto	Wys. [m]
Varso	Warszawa	310	InterContinental Warsaw	Warszawa	164
Pałac Kultury i Nauki	Warszawa	237	Cosmopolitan Twarda 2/4	Warszawa	160
Warsaw Spire	Warszawa	220	Chałbińskiego 8	Warszawa	150
Sky Tower	Wrocław	212	Sea Towers	Gdynia	142
Warsaw Trade Tower	Warszawa	208	Bazylika w Licheniu	Licheń Stary	141,5
Warsow Unit	Warszawa	202	Mennica Legacy Tower	Warszawa	141
Skyliner	Warszawa	195	Intraco I	Warszawa	138
Q22	Warszawa	195	KTW II	Katowice	134
Złota 44	Warszawa	192	The Warsaw Hub	Warszawa	130
Rondo 1	Warszawa	192	Olivia Star	Gdańsk	130
Generation Park	Warszawa	180	Spektrum	Warszawa	128
Centrum Lim	Warszawa	170	PAZIM	Szczecin	128
Warsaw Financial Center	Warszawa	165	Altus	Katowice	125

2.3. Potencjalne przyczyny katastrof budowlanych

Dynamiczny rozwój infrastruktury budowlanej powoduje ciągły wzrost liczby budynków zaliczanych do wysokościowych. Taka sytuacja powoduje, że przy stałym poziomie bezpieczeństwa liczba wypadków będzie wzrastać.

Zagrożenia bezpieczeństwa, w szczególności w zakresie zachowania zdrowia i życia ludzkiego, mogą wynikać z możliwości uszkodzenia konstrukcji budynku lub wręcz całkowitego zniszczenia obiektu.

Katastrofy budowlane mogą się wydarzyć na skutek:

- wadliwego projektu budynku,
- błędów w technologii wykonania,
- zastosowania niewłaściwych materiałów konstrukcyjnych, zwłaszcza nie spełniających norm wytrzymałościowych,
- nieprawidłowej eksploatacji obiektu, np. przekroczenia dopuszczalnych obciążeń eksploatacyjnych,
- klęsk żywiołowych, takich jak np. trzęsienie ziemi lub tornado,
- nieprawidłowo przeprowadzonego remontu budynku,
- katastrof komunikacyjnych,
- działań terrorystycznych,
- pożaru budynku.

Jednym z największych zagrożeń bezpieczeństwa jest pożar budynku.

Pożar może wystąpić jako skutek katastrofy budowlanej, a ponadto z powodu:

- nieprawidłowej pracy lub eksploatacji urządzeń grzewczych,
- wadliwej pracy lub niewłaściwej eksploatacji urządzeń i instalacji, w które jest wyposażony budynek (np. klimatyzacji, instalacji elektrycznej, instalacji gazowej, wind, urządzeń AGD itp.),
- zaproszenia ognia przez użytkowników (mieszkańców),
- klęsk żywiołowych (np. wyładowania atmosferyczne, trzęsienia ziemi, tornada),
- katastrof komunikacyjnych,
- działań terrorystycznych.

Statystyki wskazują, że pożar budynku nierzadko jest zdarzeniem, którego skutki są szczególnie dramatyczne. Przykładów takich zdarzeń jest wiele.

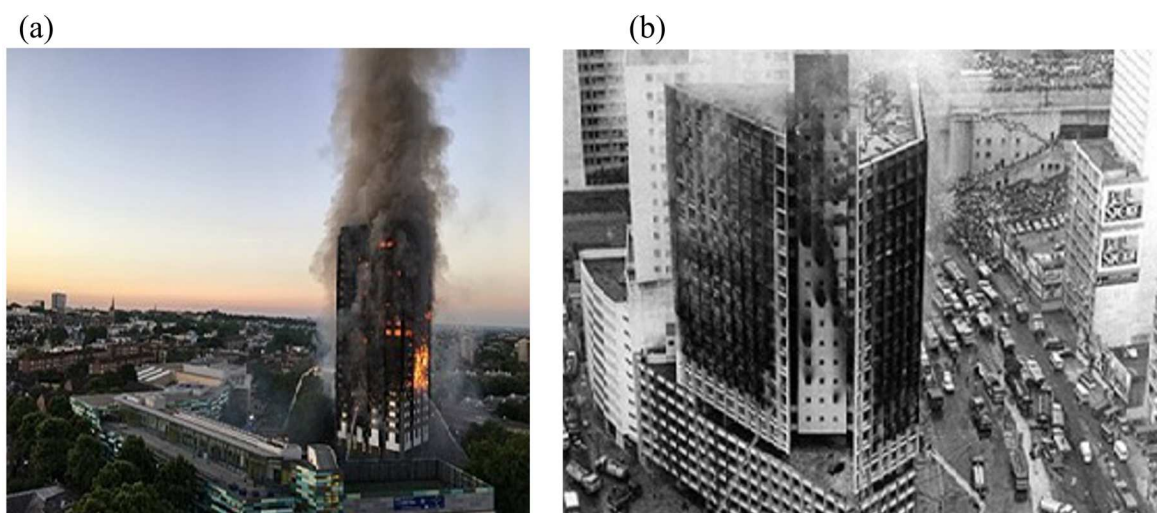
Możemy do nich zaliczyć pożar 24 piętrowego (67,3 m) budynku Grenfell Tower w Londynie, który wydarzył się 14.06.2014 r. (rys. 2a). Przyczyną pożaru było zwarcie w instalacji elektrycznej lodówki. Ogień pojawił się na 4 piętrze i z powodu ocieplenia budynku materiałem palnym, błyskawicznie się rozprzestrzenił. Mimo szybkiej akcji ratowniczej, skutkiem tego zdarzenia było 72 ofiar śmiertelnych oraz 74 osoby ranne.

Kolejnym przykładem jest pożar 25-piętrowego budynku Joelma w Sao Paulo w Brazylii, do którego doszło 1.01.1974 r. Wskutek tego pożaru zginęło 189 osób, a 74 zostało rannych (rys. 2b).

W obu przypadkach niemożliwe było opuszczenie budynku z wykorzystaniem dróg ewakuacyjnych, zaś sprzęt ratowniczy okazał się nieskuteczny.

Mimo wdrażania zaleceń profilaktycznych wynikających z badania pożarów, w dalszym ciągu istnieje zagrożenie pożarowe. Potwierdzeniem tej tezy mogą być przykłady pożarów, które wydarzyły się w 2022 roku. W dniu 16.08.2022 r. w mieście Changsha, Chiny, pożar całkowicie zniszczył 42-piętrowy budynek (rys. 3a). Z kolei w dniu 15.10.2022 r. pożar doszczętnie zniszczył 24-piętrowy budynek w Stambule, Turcja (rys. 3b).

Po zaistnieniu katastrofy, ludzie którzy nie ucierpieli bezpośrednio zwykle w dalszym ciągu znajdują się w sytuacji bezpośrednio zagrażającej ich zdrowiu lub nawet życiu. W większości przypadków jedyną szansą na uniknięcie obrażeń jest bezzwłoczna ewakuacja z zagrożonego miejsca. Zadanie to jest szczególnie skomplikowane, jeśli uczestnicy wypadku przebywają w miejscach trudnodostępnych, w tym w budynkach wysokościowych.



Rys. 2. (a) Pożar budynku Grenfell Tower [6], (b) pożar budynku w Sao Paulo [7]



Rys. 3. (a) Pożar w Changsha, Chiny [8], (b) pożar w Stambule, Turcja [9]

2.4. Sposoby ewakuacji ludzi z wysokich budynków

Analizując systemy bezpieczeństwa biernego, zastosowane w budynkach wysokościowych, można wyróżnić dwie podstawowe metody ewakuacji ludzi:

- samodzielna ewakuacja osób znajdujących się w zagrożonym obiekcie,
- ewakuacja przez służby ratownicze.

Podstawowym i naturalnym sposobem ucieczki z zagrożonego miejsca jest samodzielna ewakuacja. Architekci i konstruktorzy budynków, zwłaszcza „wieżowców”, wprowadzają szereg rozwiązań zwiększających poziom bezpieczeństwa w czasie zdarzenia katastroficznego. Największy nacisk położony jest na zapewnienie drożności dróg ewakuacyjnych oraz zapewnienie alternatywnych dróg komunikacyjnych.

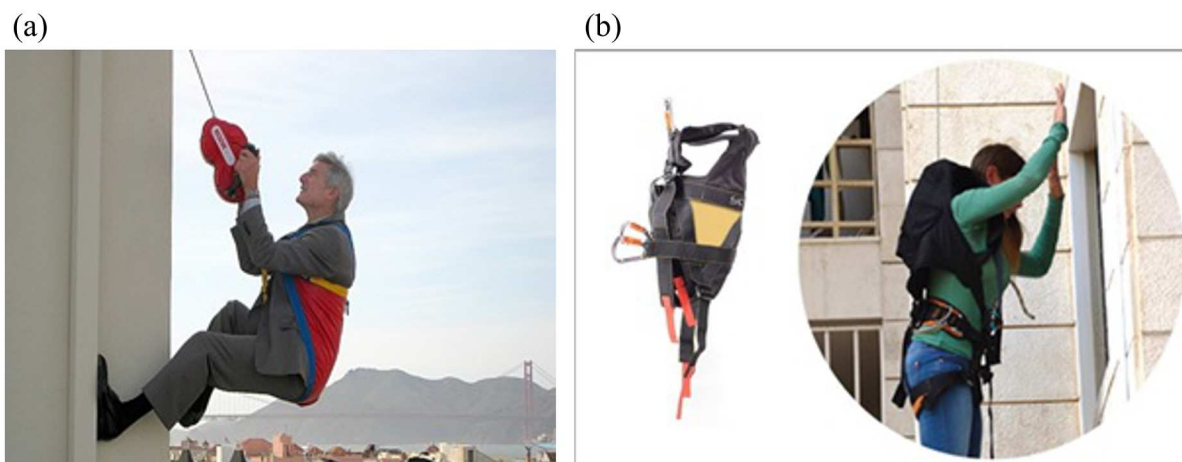
W tym zakresie wprowadza się następujące rozwiązania:

- projektowanie większej niż wynika to z potrzeb normalnej eksploatacji liczby klatek schodowych i korytarzy,
- dodatkowe wydzielone korytarze ewakuacyjne nieużytkowane w normalnej eksploatacji. Zwykle awaryjne ciągi komunikacyjne wyposażane są w kurtyny przeciwpożarowe i pozbawione materiałów łatwopalnych,
- zastosowanie przegród ogniotrwałych; najczęściej są to samozamykające się, niepalne drzwi, zapobiegające szybkiej propagacji pożaru,
- wyraźne oznakowanie dróg ewakuacyjnych, widoczne w warunkach braku zasilania elektrycznego oraz zadymienia,
- wyposażenie budynku w systemy wykrywania pożaru oraz w niektórych przypadkach w systemy gaszenia pożaru. Jedną z istotnych funkcji tego typu instalacji jest skuteczny układ informowania o zagrożeniu.

W niektórych przypadkach w celu podwyższenia poziomu bezpieczeństwa w budynkach instaluje się dodatkowe, specjalne wyposażenie ratownicze.

Do takiego wyposażenia specjalnego można m.in. zaliczyć:

Urządzenia „Rescue Reel” (rys. 4a) oraz „Sky Sawyer” (rys. 4b) – Oba urządzenia umożliwiają ewakuację pojedynczej osoby, która korzystając z samoczynnie wysuwającej się liny (np. ze specjalnego plecaka), może opuścić zagrożone miejsce na zewnątrz budynku. Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość ucieczki przy całkowicie niedostępnych wewnętrznych drogach ewakuacyjnych. Do wad należy zaliczyć fakt, iż z urządzenia może skorzystać jedynie pojedyncza osoba.



Rys. 4. (a) Urządzenie „Rescue Reel” [10], (b) urządzenie „Sky Sawyer” [11]

Windy ewakuacyjne firmy „Escape Rescue Systems” – Windy mocowane są na zewnątrz budynku i wyposażone w kurtyny chroniące przed wysoką temperaturą. Windy umożliwiają (w zależności od wersji) ewakuację z budynków o wysokości do 300 m (rys. 5).

Spadochron ratunkowy firmy „Space Rescue System Ltd.” – Urządzenie przeznaczone jest dla pojedynczej osoby. W plecaku spakowany jest spadochron, który napełniany jest pneumatycznie na zewnątrz budynku i pozwala na bezpieczne dotarcie do ziemi (rys. 6).



Rys. 5. Windy ewakuacyjne formy „Escape Rescu Systems” [12]



Rys. 6. Spadochron ratunkowy firmy „Space Rescue System Ltd.” [13]

Ewakuacja realizowana przez służby ratownicze może odbywać się następującymi sposobami:

- ewakuacja z wykorzystaniem istniejących dróg komunikacyjnych wewnątrz budynku,
- transport ludzi z wykorzystaniem urządzeń zewnętrznych (schody ewakuacyjne, liny, rękawy ratownicze itp.),
- wykorzystanie naziemnych urządzeń ratowniczych (drabiny, skokochrony),
- wykorzystanie śmigłowców.

W Polsce, ale także w wielu innych krajach, zadania związane z ewakuacją ludzi z miejsc niebezpiecznych powierzono Państwowej Straży Pożarnej (PSP), dodatkowo realizują je ratownicy z Ochotniczej Straży Pożarnej (OSP).

W przypadkach, kiedy nie ma możliwości użycia urządzeń naziemnych (np. ze względu na zbyt dużą wysokość budynku), ratownicy podejmują próbę ewakuacji ludzi, wykorzystując do tego specjalistyczny sprzęt (liny, specjalne nosze, aparaty tlenowe itd.). Jednak w tym przypadku

zachodzi konieczność, aby ratownicy dotarli do miejsc, w których znajdują się osoby oczekujące na pomoc. Jeśli ze względu na wysokość budynku, nie można użyć sprzętu naziemnego i drogi ewakuacyjne są całkowicie niedrożne, wówczas pozostaje tylko jedna możliwość opuszczenia zagrożonych miejsc – wykorzystanie śmigłowców.

Ewakuacja z wykorzystaniem śmigłowców jest stosunkowo skutecznym sposobem na opuszczenie wysokiego budynku, jednak istnieje tu wiele ograniczeń. Należy do nich zaliczyć brak możliwości lądowania na dachu budynku, ze względu na zabudowanie na nim urządzenia np. systemów klimatyzacji lub różnego rodzaju anten lub ustawienie reklam i elementów dekoracyjnych. Możliwe jest także podejmowanie ludzi przez ratownika zawieszonego na linie pod śmigłowcem, jednak ten sposób wymaga precyzyjnego sterowania maszyną w warunkach szczególnie burzliwej atmosfery. Lot w pobliżu budynku staje się więc niezwykle trudny, a niekiedy może być obarczony niedopuszczalnie niskim poziomem bezpieczeństwa.

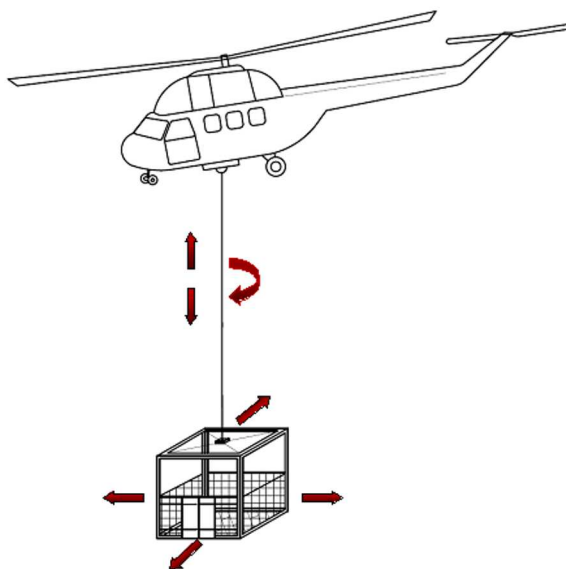
Na podstawie analizy możliwości ratowania ludzi z obiektów trudnodostępnych można stwierdzić, że w niektórych przypadkach ewakuacja będzie niezwykle trudna, czasochłonna i niekiedy wręcz niemożliwa ze względu na niedostatki w wyposażeniu służb ratowniczych w odpowiedni sprzęt. Stąd też autorzy podjęli próbę opracowania nowych urządzeń do ratownictwa powietrznego z obiektów trudnodostępnych.

3. Koncepcja urządzenia do ewakuacji ludzi z obiektów trudnodostępnych

3.1. Klatka ratownicza podwieszana pod śmigłowcem [14]

Jak już wykazano w poprzednim rozdziale, w niektórych przypadkach jedyną skuteczną metodą opuszczenia zagrożonego budynku przez ludzi może być użycie śmigłowców. Ten sposób ma jednak wiele ograniczeń, do których można zaliczyć także to, że jednorazowo ratownik podwieszony na linie może podjąć zaledwie jedną osobę oczekującą na pomoc.

Opracowano koncepcję „klatki ratowniczej” (KL) podwieszanej pod śmigłowcem, umożliwiającej podjęcie 5 osób jednocześnie (rozwiązanie zaprezentowano na konferencji ML-XVII, 2016). Klatka ratownicza ma możliwość samodzielnego przemieszczania się (w ograniczonym zakresie) w dowolną stronę, co eliminuje czasochłonną konieczność precyzyjnego przyjmowania wymaganego położenia śmigłowca względem obiektu (rys. 7).

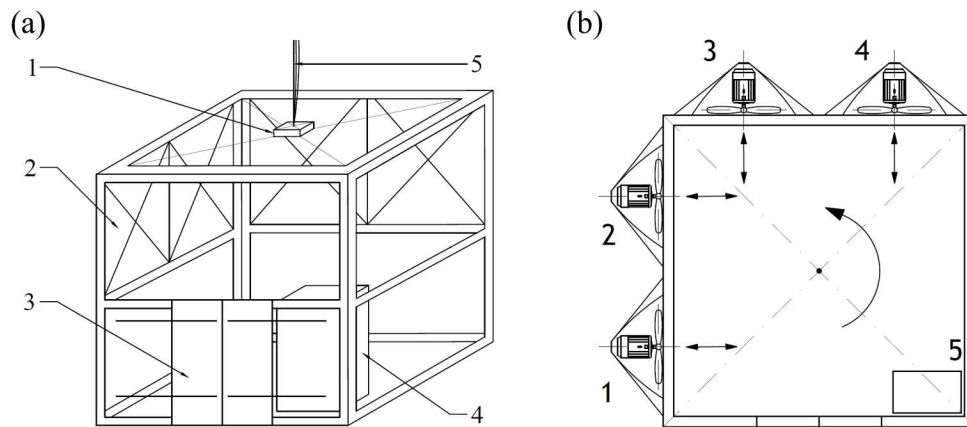


Rys. 7. Koncepcja „klatki ratowniczej” [14]

Założono następujące właściwości KR:

- możliwość zmiany długości liny łączącej śmigłowiec z urządzeniem w zakresie $H_S = (10 \div 100)$ m (realizowane ze śmigłowca),
- możliwość ruchu urządzenia w pionie (realizowane przez operatora na pokładzie KR) w zakresie $H_U = \pm 10$ m,
- możliwość samodzielnego przemieszczania się urządzenia w płaszczyźnie XY . Maksymalne odchylenie liny od pionu wyniesie $\beta = \pm 10^\circ$. W zależności od długości liny odchylenie od pionu wyniesie $L = \pm(2 \div 19)$ m w dowolnym kierunku,
- wykonywanie dowolnego ruchu obrotowego,
- maksymalna prędkość ruchu w dowolnym kierunku wyniesie $V_R \leq 3$ m/s,
- urządzenie będzie wyposażone w układ stabilizacji położenia i ruchu.

Przewidywano, że urządzenie będzie prostopadłościenną konstrukcją kratową wyposażoną w cztery zespoły napędowe (silniki elektryczne z obudowanym śmigłem), wciągarkę, urządzenia do kotwiczenia do budynku oraz pulpit sterowniczy (rys. 8a i 8b).



Rys. 8. (a) Schemat konstrukcyjny KR: 1 – wciągarka, 2 – miejsce zespołu napędowego, 3 – drzwi wejściowe, 4 – pulpit sterowniczy, 5 – lina i przewód zasilający. (b) Zespoły napędowe KR: 1-4 – zespoły napędowe, 5 – pulpit sterowniczy

Prace nad projektem klatki ratowniczej, ze względu na ograniczenia finansowe, objęły studium wykonalności projektu oraz opracowania założeń i wstępnej koncepcji konstrukcyjnej.

Mając na względzie istotne braki w wyposażeniu zapewniającym dotarcie służb ratowniczych do dowolnego miejsca akcji z zewnątrz budynku, rozpoczęto prace nad koncepcją ratowniczego statku powietrznego.

3.2. Założenia koncepcyjne statku latającego do ratownictwa powietrznego

Przedmiotem projektu jest opracowania statku latającego do ratownictwa powietrznego (SLdRP) zdolnego do podjęcia na pokład 3-4 osób jednorazowo, po zacumowaniu do zewnętrznej fasady budynku.

Pojazd będzie posiadał możliwość lotu pionowego. Jako zasadę zakłada się sterowanie urządzeniem przez operatora znajdującego się na pokładzie, ale aparat zostanie wyposażony w moduł do sterowania zdalnego. Projektowany statek latający może zostać użyty do ewakuacji ludzi zarówno z wysokich budynków, jak również z innych, trudnodostępnych miejsc (np. góry, akweny, tereny bagienne itd.).

Wobec projektowanego SLdRP sformułowano następujące wymagania:

Możliwość lotu pionowego z prędkością $w \geq 5$ m/s – Statek latający powinien poruszać się w dowolnym kierunku (w tym w pionie). W związku z tym zachodzi konieczność, aby

sumaryczny ciąg zespołów napędowych był większy od ciężaru całkowitego urządzenia z zachowaniem zasad nadmiarowania parametrycznego.

Udźwig urządzenia $m \geq 400$ kg – Udźwig urządzenia powinien umożliwić transport do 4 osób jednocześnie. Założono, że na pokładzie statku latającego będzie znajdował się operator, który oprócz zadań związanych ze sterowaniem będzie także wspomagał podejmowane osoby w czasie zajmowania miejsca na pokładzie. Przewiduje się także zaprojektowanie układu umożliwiającego sterowanie zdalne. Analizy działań ratowniczych wskazują jednak, że w sytuacji silnego stresu, w obliczu zagrożenia zdrowia lub życia, ludzie nierzadko postępują nieracjonalnie lub nie podejmują jakiegokolwiek działań. Wydaje się więc, że obecność operatora-ratownika w miejscu akcji jest czynnikiem niezbędnym do prawidłowego i skutecznego przebiegu działań ewakuacyjnych. Działania ratownicze z wykorzystaniem zdalnego sterowania przewidziane są tylko w przypadkach, gdy w ocenie dowodzącego akcją ratowniczą, akcja z operatem na pokładzie jest zbyt ryzykowana.

Zasięg lotu SLdRP – Zasięg lotu projektowanej konstrukcji będzie zależał od wersji urządzenia i uwarunkowany będzie w głównej mierze obszarem, w którym prowadzone będą działania. Zakłada się, że powstaną dwie wersje statku latającego:

- wersja B – do ratownictwa z wysokich budynków;
- wersja G – do ratownictwa w trudnych warunkach terenowych (góry, akweny, tereny o małej spistości podłoża).

W przypadku wersji B przewiduje się, że zasięg lotu pozwoli na wykonanie 10 lotów ratowniczych. W obliczeniach niezbędnego zasobu energii należy uwzględnić czas spędzony na precyzyjnym podejściu do miejsca akcji ratowniczej oraz zawis niezbędny do podjęcia ludzi.

W przypadku wersji G przewiduje się zasięg do 10 km oraz pułap rzędu 4 km.

Stabilizacja położenia urządzenia – Stabilizacja położenia urządzenia podczas podejmowania ludzi na pokład z punktu zapewnienia bezpieczeństwa operacyjnego jest szczególnie pożądaną właściwością. Zacumowanie do budynku podczas akcji ratowniczej może nastręczać sporych problemów, głównie ze względu na nieprzewidywalność warunków technicznych w miejscu działania statku latającego. Rozważono więc koncepcję zastosowania dodatkowego, niewielkiego zespołu napędowego umożliwiającego dodatkowy docisk urządzenia do ściany budynku oraz zastosowanie w konstrukcji wysuwanych kolców zapobiegających przesuwaniu się statku latającego. W momencie podejmowania ratowanych osób na pokład wyprzedzająco następował będzie wzrost ciągu zespołów napędowych, aby zapobiegać osuwaniu się urządzenia ze względu na zwiększanie się obciążenia. Wzrost ten każdorazowo będzie zapewniał nadmiar ciągu w stosunku do ciągu niezbędnego równy co do wartości przewidywanemu ciężarowi jednej osoby. Zapobieganie przejścia do lotu wznoszącego będzie możliwe dzięki sile docisku oraz oporowi wysuwanych kolców stykających się z elementami fasady budynku.

Zabezpieczenie przeciwpożarowe – Przewiduje się użytkowanie urządzenia w różnych warunkach, w tym również podczas pożaru. Aby podwyższyć skuteczność działania i bezpieczeństwo, zakłada się wyposażenie maszyny w wentylator umożliwiający usuwanie dymu z miejsca, w którym przebywają ewakuowane osoby. Ponadto konstrukcja kratownicowa będzie osłonięta kurtynami z materiału ognioodpornego, zabezpieczając pasażerów przed oparzeniami. Ponadto konieczne będzie zastosowanie skutecznego układu oświetlenia miejsca działania.

Układ wspomagający akcję ratowniczą – Urządzenie przewidywane jest do działania w warunkach ograniczonej lub zerowej widoczności, stąd też zakłada się wyposażenie stat-

ku latającego w detektory umożliwiające lokalizację ludzi. Możliwe tu jest zastosowanie np. kamer termowizyjnych, mikrofonów matrycowych do identyfikacji głosu ludzkiego z dużych odległości. Ponadto niezbędnym wyposażeniem będzie system nagłaśniający umożliwiający przekazywanie instrukcji ewakuowanym osobom.

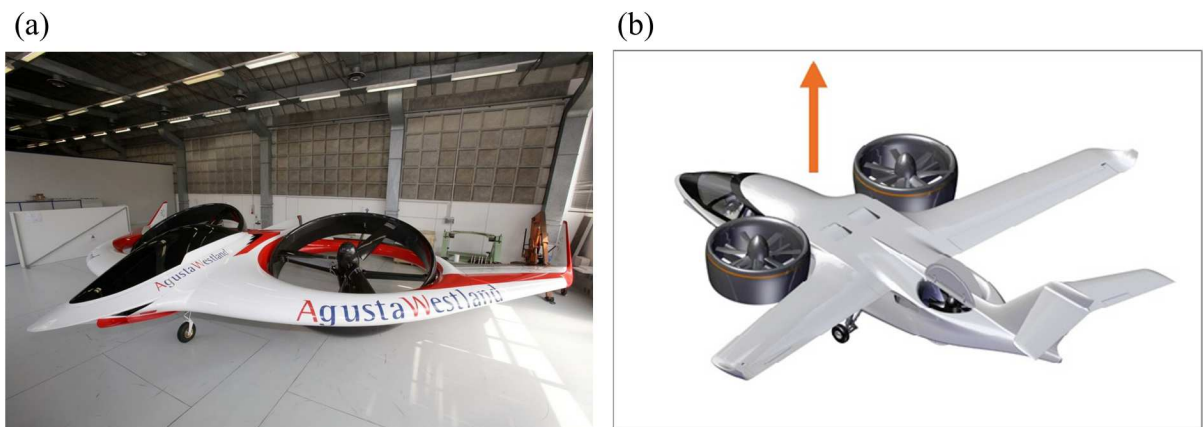
Właściwości eksploatacyjne

- przygotowanie urządzenia do działania (obsługa liniowa) będzie odbywać się podczas transportu statku latającego do miejsca akcji,
- przygotowanie obsługi w celu odtworzenia gotowości technicznej nie powinno trwać dłużej niż $t \leq 5$ min,
- w zakresie uzupełniania zasobu energii niezbędnej do kontynuowania lotów w przypadku napędu elektrycznego przewiduje się wymianę akumulatorów oraz naziemną stację do szybkiego ładowania zdemontowanych baterii. W przypadku napędu spalinowego opracowania wymaga szybki i bezpieczny sposób uzupełniania paliwa,
- konstrukcja powinna przenieść obciążenia oraz zabezpieczyć pasażerów w przypadkach lądowania awaryjnego z przeciążeniem pionowym $n_z = 12$,
- w przypadku zdalnego sterowania aparatem w momencie utraty łączności między operatorem a maszyną urządzenie powinno przejść automatycznie w tryb „lądowanie”.

3.3. Uzyskanie właściwości VTOL statku latającego

Jednym z podstawowych problemów do rozwiązania w przypadku tego projektu jest zapewnienie możliwości lotu pionowego. Aktualnie na świecie prowadzone są liczne projekty i badania nad opracowaniem tzw. „latających taksówek”, które z racji przewidywanych warunków użytkowania w aglomeracjach miejskich muszą umożliwiać pionowy start i lądowanie. W celu uzyskania możliwości lotu pionowego zwykle stosuje się napęd wiroplatowy lub rzadziej napęd odrzutowy. Dodatkowo ze względów na ochronę środowiska projektanci najczęściej skłaniają się ku zastosowaniu napędu całkowicie elektrycznego.

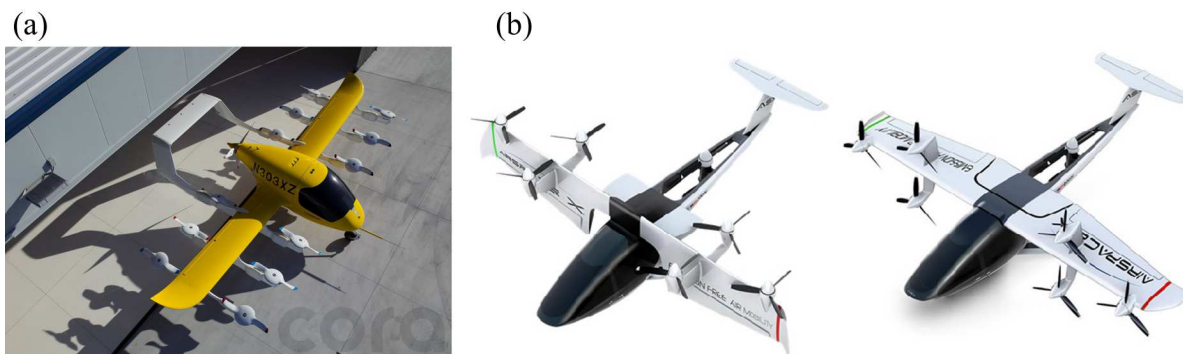
W przypadku zastosowania napędu w postaci wiroplata wykorzystuje się różne warianty rozwiązań problemu przejścia z lotu pionowego do poziomego i odwrotnie. Stosuje się więc wirniki nośne o zmiennej płaszczyźnie obrotu (rys. 9a). W innym przypadku (Trifan 600, firmy XTI Aircraft) zastosowano wirniki o zmiennej płaszczyźnie wirowania oraz jeden wirnik o stałym położeniu osi obrotu (rys. 9b).



Rys. 9. (a) Project Zero [15], (b) Trifan 600 [16]

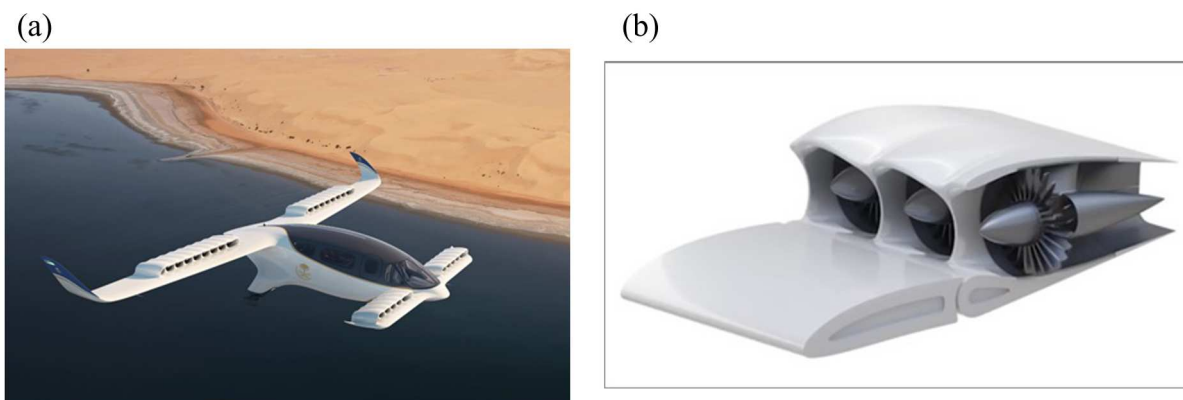
W kolejnych rozwiązaniach proponowane są oddzielne zespoły napędowe do lotu pionowego oraz zespół napędowy – marszowy (rys. 10a). Z kolei w innym rozwiązaniu zastosowano zmienny

kąt zaklinowania skrzydeł, który umożliwia zmianę płaszczyzny wirowania śmigieł napędzanych przez silniki elektryczne (rys. 10b).



Rys. 10. (a) Cora [17], (b) Mobi-one [18]

Oryginalne rozwiązanie napędu zaproponowano w projekcie firmy Lilium w statku powietrznym o takiej samej nazwie jak nazwa firmy. W przypadku konstrukcji tego statku powietrznego zastosowano aż 36 zespołów napędowych składających się z obudowanego silnika elektrycznego napędzającego wirnik wytwarzający siłę ciągu. Każdy zespół napędowy ma możliwość zmiany położenia, co pozwala na sterowanie wektorem ciągu (rys. 11)

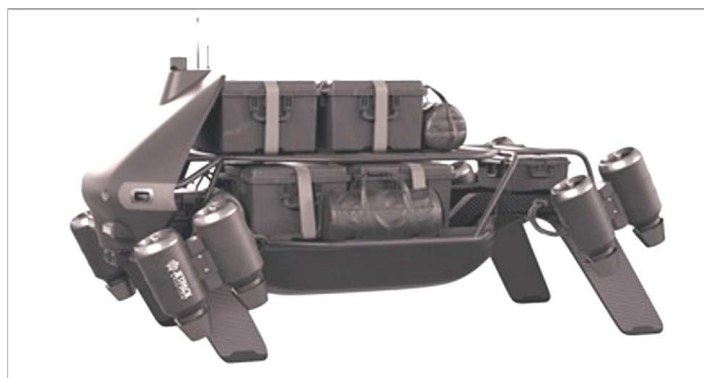


Rys. 11. (a) Lilium [18], (b) zespół napędowy Lilium [18]

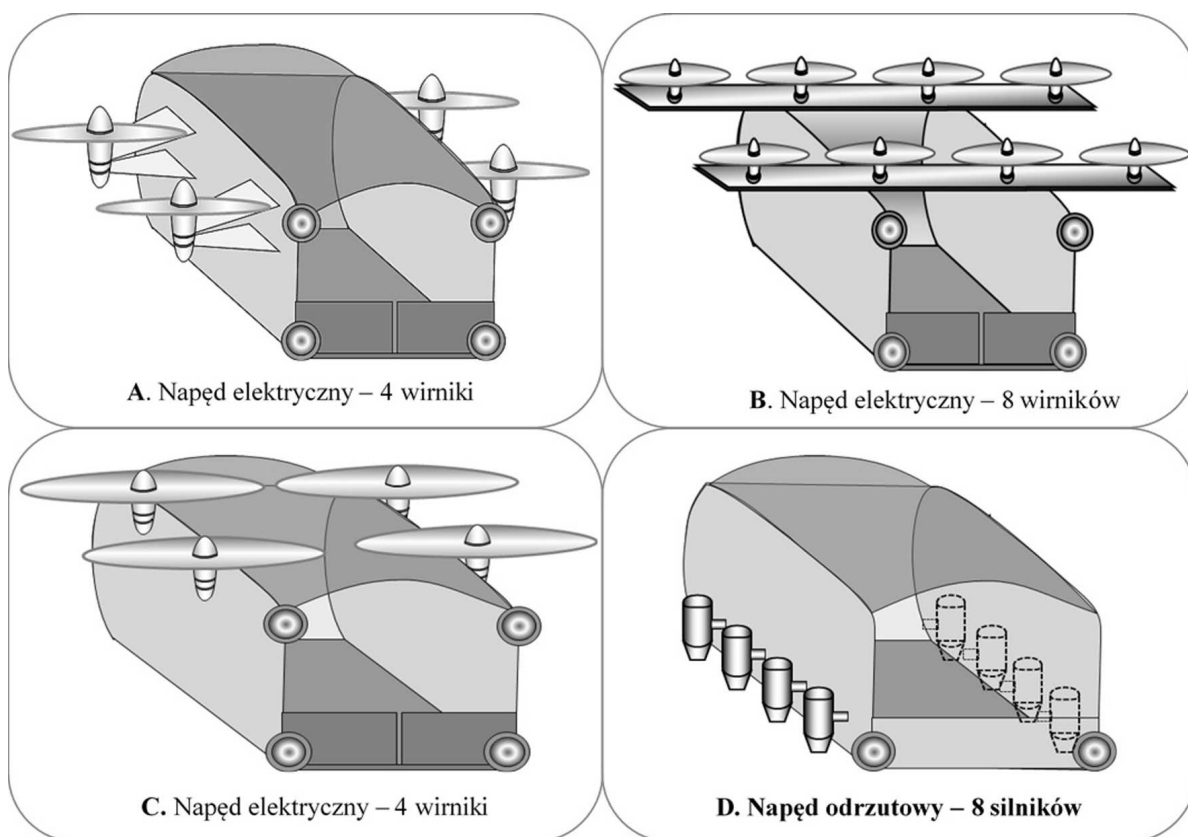
Uzyskanie właściwości VTOL możliwe jest także przy zastosowaniu silników odrzutowych. Na przykład w projekcie „Mayman car” (rys. 12) zastosowano 8 silników odrzutowych, które mają możliwość zmiany położenia. W tym przypadku uzyskano udźwig około 400 kg.

Wnioski wyciągnięte z analiz realizowanych projektów wskazują, że uzyskanie możliwości ruchu w dowolnym kierunku, w tym lotu pionowego, możliwe jest przy użyciu napędu bezpośredniego (silniki odrzutowe), jak również przy zastosowaniu koncepcji wiropłata z możliwością zmiany kierunku wektora ciągu.

W zakresie napędu dedykowanego do projektowanego statku latającego przewiduje się przeanalizowanie – pod kątem efektywności – możliwości spełnienia wymagań technicznych, skuteczności sterowania wraz z uwzględnieniem bezpieczeństwa eksploatacji różnych wariantów pod względem typów i rozmieszczenia napędów (rys. 13).



Rys. 12. Mayman car [19]



Rys. 13. Warianty rozmieszczenia zespołów napędowych SLdRP (opracowanie własne)

4. Podsumowanie

Opracowana koncepcja statku latającego do ratownictwa powietrznego (SLdRP) przewiduje, że urządzenie to będzie zdolne do ewakuacji 3-4 osób z obiektów trudnodostępnych. Maszyna latająca może być także wykorzystana do transportu ratowników lub sprzętu niezbędnego do przeprowadzenia skutecznej akcji ratowniczej. Autorzy projektu sądzą, że opracowanie i wdrożenie tego typu urządzenia zlikwiduje niedostatki w wyposażeniu służb ratowniczych, zwłaszcza w ratownictwie wysokościowym. Wydaje się, że najważniejszą korzyścią z zastosowania takiego urządzenia, będzie możliwość dotarcia do praktycznie każdego miejsca na zewnątrz budynku i tym samym wzrosną szanse na ewakuację ludzi z miejsca zagrożenia.

W ramach projektu SLdRP dotychczas zrealizowano następujące zagadnienia:

- identyfikacja zagrożeń wynikających w eksploatacji wysokich budynków,
- analiza możliwości ratowania ludzi w sytuacjach katastroficznych,
- sformułowanie założeń i wymagań stawianych przed opracowywaną konstrukcją,
- analiza konstrukcyjna statków powietrznych dysponujących możliwością lotu pionowego, w szczególności w zakresie zastosowanych zespołów napędowych,
- analiza głównych problemów związanych z projektem.

W perspektywie dalszych prac przewiduje się:

- opracowanie projektu konstrukcyjnego urządzenia,
- badania analityczne w zakresie typu, liczby oraz rozmieszczenia zespołów napędowych,
- obliczenia w zakresie dynamiki ruchu statku latającego,
- opracowanie technologii ustalania położenia (cumowania) urządzenia względem budynku,
- opracowanie układu stabilizacji ruchu oraz układu sterowania,
- opracowanie systemu automatycznego, bezpiecznego sprowadzania urządzenia w sytuacjach awaryjnych,
- dobór wyposażenia SLdRP (układ oświetlenia, urządzenia do wykrywania ludzi w warunkach ograniczonej widoczności),
- wykonanie makiety urządzenia,
- wykonanie modelu i przeprowadzenie badań w locie,
- opracowanie dokumentacji projektowej i użytkowej.

Bibliografia

1. Ustawa z dnia 7.07.2014.: *Prawo Budowlane*, Dz.U. 1994. 89 poz. 414, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu19940890414> [dostęp: 09.12.2022]
2. Główny Inspektor Nadzoru Budowlanego: *Katastrofy budowlane w 2020 roku*, Warszawa 2021 r. https://www.gunb.gov.pl/sites/default/files/attachment/analiza_katastrof_budowlanych_za_2020_r._-_wersja_na_bip.pdf
3. https://pl.wikipedia.org/wiki/Lista_najwy%C5%BCszych_budynk%C3%B3w [dostęp: 04.12.2022]
4. <http://skyscraperpage.com/> [dostęp: 9.12.2022]
5. https://pl.wikipedia.org/wiki/Lista_najwy%C5%BCszych_budynk%C3%B3w_w_Polsce [dostęp: 9.12.2022]
6. https://pl.wikipedia.org/wiki/Po%C5%BCar_wie%C5%BCowca_Grenfell_Tower_w_Londynie [dostęp: 9.12.2022]
7. <https://www.tvp.info/32812699/pozary-ktore-pochlonely-setki-ofiar-jak-plonely-wiezowce> [dostęp: 9.12.2022]
8. <https://wiadomosci.wp.pl/plonie-china-telecom-ogromny-pozar-wiezowca-w-chinach-6813016202820352a> [dostęp: 9.12.2022]
9. <https://wydarzenia.interia.pl/zagranica/news-turcja-pozar-wiezowca-w-stambule-trwa-akcja-gasnica,nId,6349993> [dostęp: 9.12.2022]
10. <http://www.csmonitor.com/USA/2011/0910/One-man-s-9-11-idea-to-rescue-people-from-high-rise-buildings> [dostęp: 10.12.2022]
11. <https://skysaver.com/#FAQhp> [dostęp: 10.12.2022]
12. <https://www.escaperescue.com/> [dostęp: 10.12.2022]
13. <https://cosmic-rs.com/wp-content/uploads/2015/06/7-spars.jpg> [dostęp: 10.12.2022]

14. GRONCZEWSKI A., MATRAS A., Projekt urządzenia do ratowania ludzi z obiektów trudno dostępnych, [W:] *Mechanika w lotnictwie, ML-XVII 2016*, K. Sibilski (Red.), ZG PTMTS, Warszawa, 2016
15. https://en.wikipedia.org/wiki/AgustaWestland_Project_Zero#/media/File:Agusta_project_zero_sketch.jpg [dostęp: 11.12.2022]
16. <https://www.xtiaircraft.com/xti-triFan-600> [dostęp: 11.12.2022]
17. <https://wisk.aero/aircraft/> [dostęp: 11.12.2022]
18. <https://lilium.com/jet> [dostęp: 11.12.2022]
19. <https://maymanaerospace.com/> [dostęp: 11.12.2022]

Conceptual design of a device for air rescue from hard-to-reach objects

Safety violations lead to accidents that can cause property damage, but most importantly, injury or death to people. Modern construction infrastructure facilities are equipped with numerous active and passive safety solutions. Despite this, it is not possible to completely eliminate threats to human health and life. These risks can be minimized by rapid and effective evacuation of people from places at risk.

To rescue people from buildings with difficult access, it is proposed to use a vertical takeoff and landing aircraft (rotorcraft). The idea of evacuating people from hard-to-reach objects, especially high buildings, is based on the use of a flying, unmanned rotorcraft remotely controlled by the operator. It is expected that the device will be capable of evacuating up to four people at the same time. It is envisaged that the flying craft will be equipped with detectors to locate people in zero-visibility conditions.