

ROZDZIAŁ 7

Klasyfikacja technologicznych zagrożeń wybranych obszarów Podkarpacia

Mirosław HAJDER*, Beata FLOREK*, Mariusz NYCZ*

*Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania z siedzibą w Rzeszowie,

†Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza,

Miroslaw.Hajder@gmail.com, BeataFlorek@wp.pl, MNycz@prz.edu.pl

Streszczenie

Prezentowany rozdział przedstawia szczegółową klasyfikację wybranych zagrożeń technologicznych, których wystąpienie jest prawdopodobne na obszarze województwa Podkarpackiego. W kolejnych paragrafach omówiono: zagrożenia promieniotwórczością, środowiskami łatwopalnymi i wybuchowymi, katastrofy obiektów hydrotechnicznych oraz katastrofy ekologiczne. W podsumowaniu, wykorzystując zaproponowaną klasyfikację, uogólniono pojęcie zagrożenia i powiązano go z ryzykiem. Rozdział adresowany jest do osób zajmujących się zarządzaniem kryzysowym.

1. Środowisko naturalne człowieka

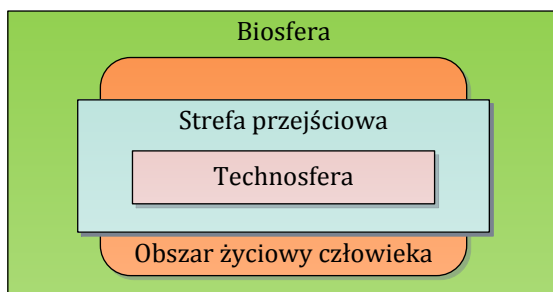
Środowiskiem naturalnym człowieka (ŚNC) nazywamy ogół warunków zewnętrznych (fizycznych, chemicznych, biologicznych i społecznych), które mają bezpośredni lub pośredni, natychmiastowy lub przyszły wpływ na działalność człowieka, jego zdrowie oraz potomstwo. ŚNC to system złożony, w którym człowiek musi rozwiązać dwa podstawowe zadania: **a.** Zaspokoić swoje potrzeby dotyczące pożywienia, wody i powietrza; **b.** Utworzyć i wykorzystać ochronę przed negatywnymi wpływami, zarówno ze strony środowiska, jak i innych ludzi.

Źródłami negatywnych oddziaływań są, przede wszystkim, zjawiska zachodzące w biosferze, w szczególności różnorodne klęski żywiołowe i zagrożenia naturalne, ale również konsekwencje bezpośredniej działalności człowieka. Na przestrzeni wieków nieprzerwana walka o swoje istnienie zmuszała człowieka do

Badania w ramach projektu: „Neuronowe i immunologiczne wspomaganie analizy i syntezy modeli obiektów technicznych na bazie struktur wykorzystujących grafy rzadkie w warunkach niekompletności informacji”. Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z budżetu Państwa w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2007 – 2013. Inwestujemy w rozwój województwa podkarpackiego.

ciągłego poszukiwania i wdrażania coraz to doskonalszych metod i środków ochrony przed zjawiskami przyrodniczymi, wpływającymi na jego środowisko naturalne. W rezultacie, środowisko to zmieniało swój wygląd, a wraz z nim różnicowały się poziomy i rodzaje zjawisk negatywnych. Powyższym zmianom sprzyjały: **a.** Wysokie tempo wzrostu liczby ludności oraz urbanizacja przestrzeni życiowej; **b.** Wzrost konsumpcji energii i koncentracja zasobów energetycznych; **c.** Intensywny rozwój przemysłu i rolnictwa; **d.** Masowe korzystanie z różnych form transportu; **e.** Wzrost wydatków na cele wojskowe.

Pierwotną przyczyną szeregu negatywnych oddziaływań w przyrodzie i społeczeństwie są czynniki antropogeniczne, które pojawiły się wraz z człowiekiem. Spowodowały one powstanie *sfery technicznej* – sztucznego środowiska, którego prawa i zasady funkcjonowania są dotychczas mało zbadane. Koncepcję interakcji podmiotów ludzkich, biosfery i sfery technicznej przedstawiono na rys. 1. Funkcjonowanie człowieka nie ogranicza się do stworzonej przez niego technosfery, ale obejmuje również samą biosferę i strefę przejściową, zachowującą w różnym stopniu cechy obu środowisk. Wraz z upływem czasu, następuje stopniowe zawężanie obszaru biosfery nieobjętej działalnością człowieka, wraz ze zmniejszaniem się strefy przejściowej.



Rys. 1. Otoczenie człowieka

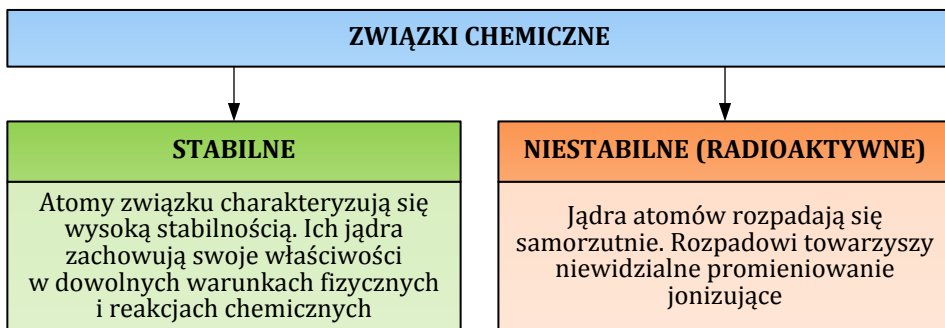
Struktura przedstawiona na rys. 1 jest przykładem systemu złożonego, którego istotnymi elementami są obiekty techniczne. Do jej analizy należy wykorzystać metody i środki teorii systemów złożonych [1], [2], [3].

2. Technologiczne czynniki katastroficzne

Katastrofa technologiczna to rodzaj zdarzeń o masowych skutkach [4], [5], [6], [7], [8], [9]. Podobnie jak katastrofa naturalna [10], [11] może ona pociągać za sobą masowe zgony, a także katastrofę ekologiczną. W odróżnieniu od ataków terrorystycznych, katastrofy technologiczne mają charakter losowy i są bardzo trudne do przewidzenia. Choć skutki, tego typu katastrof, różnią się od skutków katastrof naturalnych, również w tym przypadku może pojawić się panika, paraliż transportowy, utrata autorytetu władzy [12], [13]. Z prawnego punktu widzenia, katastrofy technologiczne są klasyfikowane jako sytuacje nadzwyczajne.

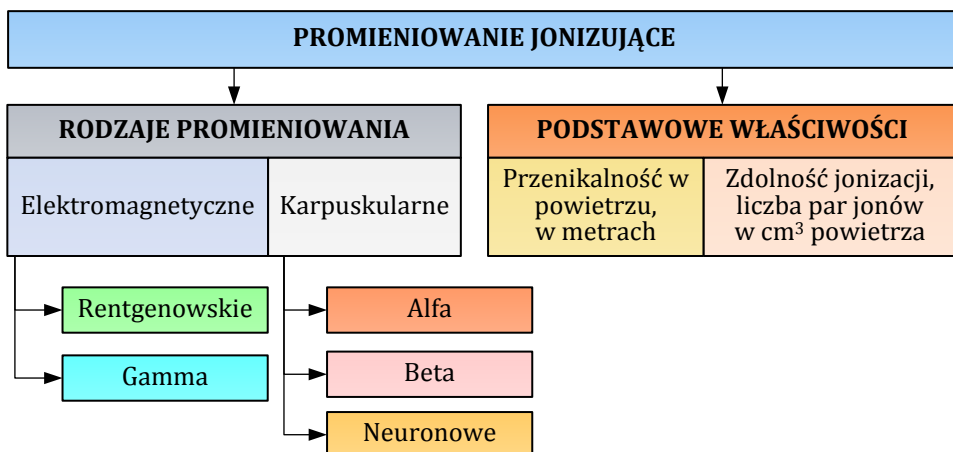
2.1. Awarie na obiektach z materiałami promieniotwórczymi

Materiały promieniotwórcze są występującymi w przyrodzie specyficznymi związkami chemicznymi. Klasyfikacja związków została przedstawiona na rys. 2.



Rys. 2. Klasyfikacja związków chemicznych

Znakomita większość związków jest stabilna i nie stanowi zagrożenia radiacyjnego. W rezultacie radioaktywnego rozpadu niestabilnych związków wydziela się promieniowanie jonizujące, którego energia jest wystarczająca do jonizacji napromienianego środowiska. Szczególnie niebezpieczne jest napromieniowanie tkanek żywych organizmów oraz substancji konsumowanych przez nie. Jonizacja polega na podziale elektrycznie neutralnego atomu na elektron z ładunkiem ujemnym i jon z ładunkiem dodatnim. Nie każde spotykane w przyrodzie promieniowanie posiada odpowiednio wysoką energię, wystarczającą do jonizacji materii. Klasyfikacja i właściwości różnych typów promieniowania jonizującego została przedstawiona na rys. 3.

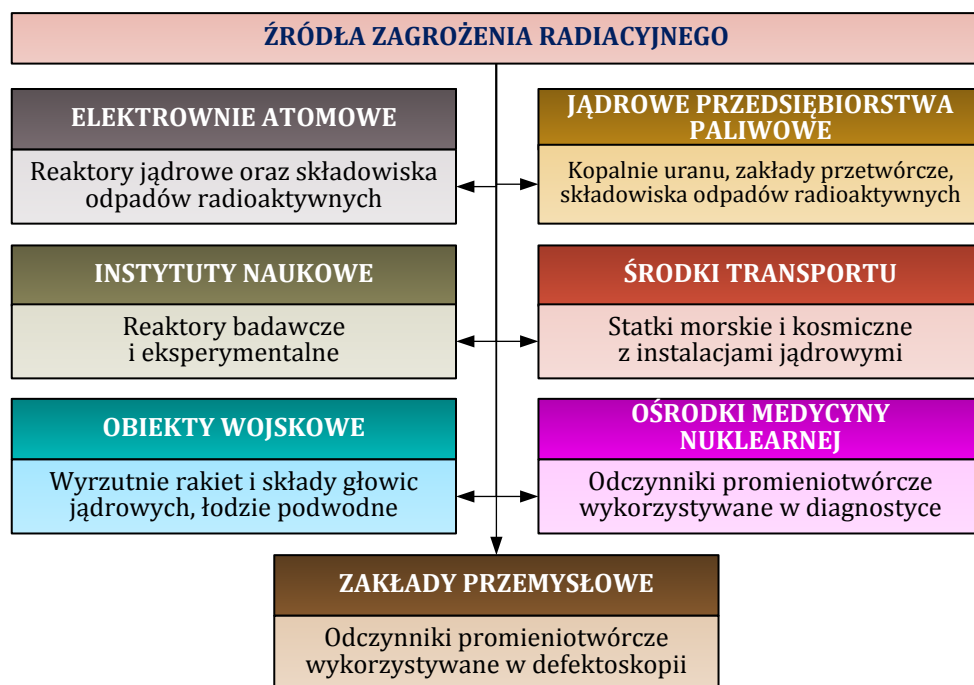


Rys. 3. Rodzaje i właściwości promieniowania jonizującego

Źródła promieniowania jonizującego klasyfikujemy na naturalne i sztuczne. *Naturalnymi* źródłami promieniowania są w pierwszej kolejności naturalne sub-

stancje radioaktywne występujące na powierzchni i w skorupie ziemskiej oraz promieniowanie kosmiczne pochodzące od wybuchów na Słońcu i innych gwiazdach. Śladowe ilości substancji radioaktywnych znajdują się również w atmosferze ziemskiej, wodzie oraz faunie i florze. *Sztucznym* źródłem promieniowania jonizującego są, przede wszystkim, obiekty wykorzystujące energię jądrową (elektrownie atomowe, statki i łodzie podwodne z napędem atomowym, statki kosmiczne). Źródłem stosunkowo niewielkiego promieniowania są także diagnostyka i terapia medyczna oraz defektoskopia. Śladowe promieniowanie wytwarzają również starsze telewizory, monitory komputerowe oraz cyferblaty niektórych zegarków.

Dowolny obiekt wykorzystujący materiały jądrowe nazywany jest *źródłem zagrożenia jądrowego*. Są nim również miejsca przechowywania materiałów radioaktywnych, środki transportu wykorzystywane do ich przemieszczania. Klasyfikacja źródeł zagrożenia radiacyjnego przedstawiona została na rys. 4.



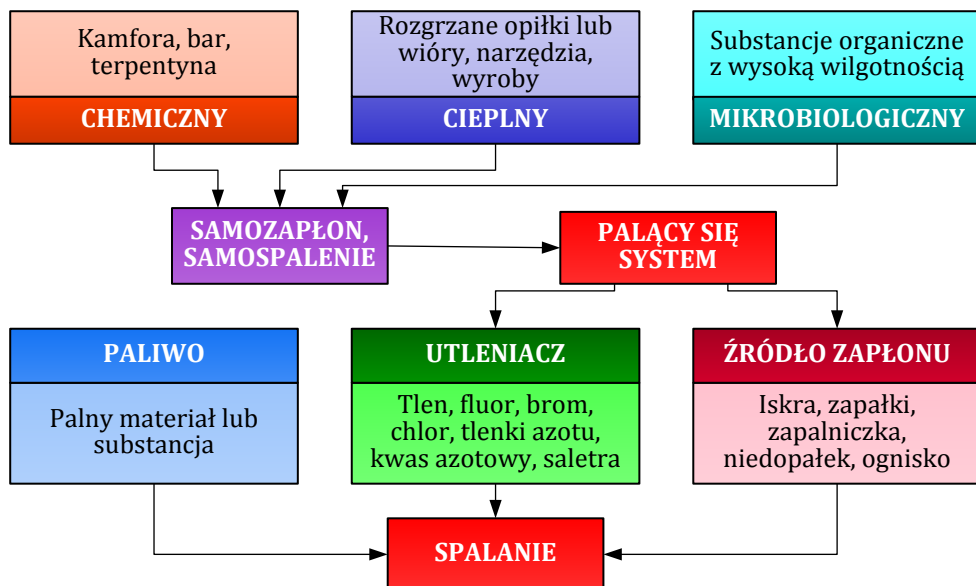
Rys. 4. Źródła zagrożenia radiacyjnego

Nie ulega wątpliwości, że największym zagrożeniem bezpieczeństwa są elektrownie atomowe oraz obiekty związane z przetwarzaniem odpadów radioaktywnych. Jedyne polski reaktor badawczy znajduje się w Narodowym Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) w Świerku. Odpady promieniotwórcze gromadzone i przetwarzane są w Zakładzie Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych w Świerku oraz Krajowym Składowisku Odpadów Promieniotwórczych w Różanie.

Znaczne ilości substancji radioaktywnych znajdują się także w Ośrodku Radioizotopów, będącym fragmentem NCBJ. Znacznie większe zagrożenie dla mieszkańców Podkarpacia stanowią elektrownie atomowe rozmieszczone w sąsiedztwie naszych granic. Obecnie, w odległości mniejszej niż 1200 km od Rzeszowa funkcjonuje 25 reaktorów różnych typów. W szczególności są to: **a.** 14 reaktorów WWER-440, każdy o mocy 440 MWe: 2 bloki elektrowni Równe (Ukraina), 375 km; 4 bloki elektrowni Paks (Węgry), 588 km; 2 bloki elektrowni Mochovce (Słowacja), 456 km; 2 bloki elektrowni Bohunice (Słowacja), 378 km; 4 bloki elektrowni Dukovany (Czechy), 542 km; **b.** 6 reaktorów WWER-1000, każdy o mocy 1000 MWe: 2 bloki elektrowni Równe (Ukraina), 375 km; 2 bloki elektrowni Chmielnicki (Ukraina), 400 km; 2 bloki elektrowni Temelin (Czechy), 710 km; **c.** 4 reaktory BWR: 1 blok elektrowni Krümmel (RFN) o mocy 1316 MWe, 1183 km; 3 bloki elektrowni Oskarshamn (Szwecja) - o mocach 487, 623 i 1197 MWe, 1093 km; **d.** 1 reaktor RBMK: 1 blok elektrowni Ignalino (Litwa) 1300 MWe, 734 km.

2.2. Pożary w środowiskach łatwopalnych i wybuchowych

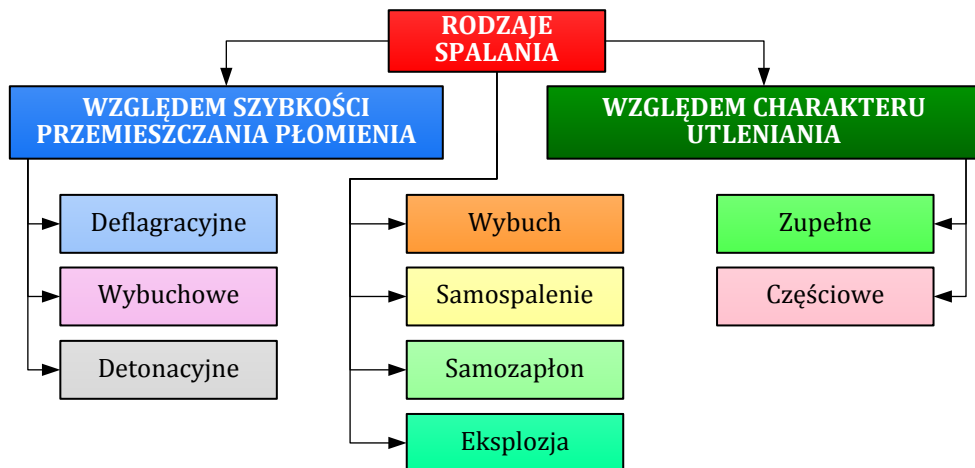
Pożar to proces niekontrolowanego spalania poza przystosowanym do tego celu specjalnym paleniskiem, któremu towarzyszy zniszczenie dóbr materialnych i zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi. Spalanie to reakcja utleniania, której towarzyszy wydzielanie się znacznych ilości ciepła i światła. Model przebiegu procesu spalania został schematycznie przedstawiony na rys. 5.



Rys. 5. Model przebiegu procesu spalania

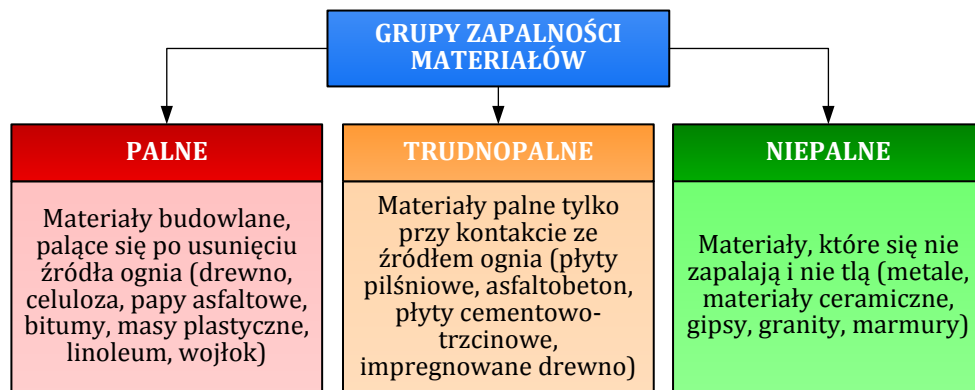
Ze *spalaniem zupełnym* spotykamy się, kiedy zawartość tlenu w powietrzu przekracza 15%. Najważniejszymi produktami spalania są: para wodna, dwutle-

nek węgla i azot. Spalanie częściowe ma miejsce przy zawartości tlenu poniżej 9%. Jego produktami są m.in. tlenek węgla, ketony, aldehydy i alkohole. Klasyfikację rodzajów spalania przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Klasyfikacja rodzajów spalania

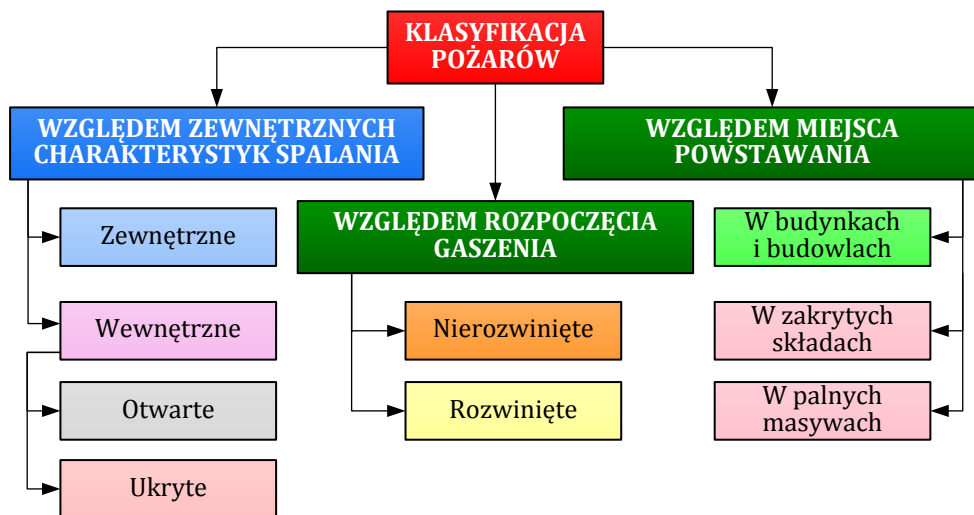
Powstanie i rozwój pożaru zależy głównie od odporności ogniowej spalanych substancji. Na rys. 7 zaprezentowano klasyfikację odporności wybranych materiałów budowlanych.



Rys. 7. Klasyfikacja materiałów względem zapalności

Pożary klasyfikujemy względem: zewnętrznych cech spalania, miejsca powstania i czasu rozpoczęcia działań gaśniczych. Klasyfikacja taka została zaprezentowana na rys. 8.

Jako przykład palnych masywów mogą posłużyć znaczne obszary pokryte roślinnością, takie jak: lasy, pola uprawne, nieużytki. Pożary nierozwinięte gaszone są w zarodku przez pracowników obiektu lub pierwszej przybyłej jednostki gaśniczej. Pożary rozwinięte z uwagi na późne wykrycie lub zgłoszenie do dyspozytora straży obejmują znaczny obszar i nie mogą być gaszone samodzielnie.

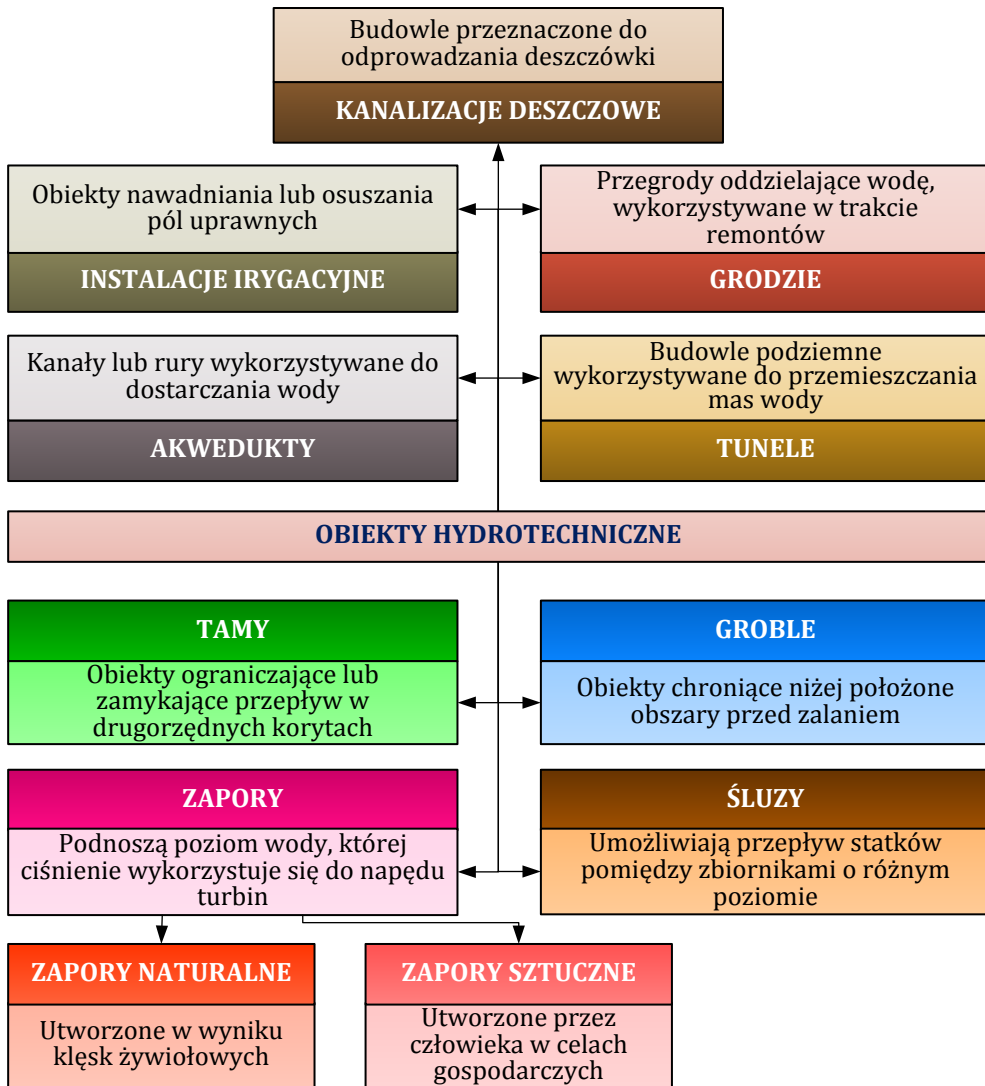


Rys. 8. Klasyfikacja rodzajów spalania

Przyczyny powstawania pożarów dzieli się na trzy podstawowe grupy: antropogeniczne, technologiczne i naturalne. Do *antropogenicznych* zaliczamy m. in.: palenie papierosów w niedozwolonych miejscach, korzystanie z otwartego ognia w miejscach zagrożonych pożarem lub wybuchem, wypalanie ściernisk, łąk i nieużytków, rozpalanie ognisk w niedozwolonych miejscach w okresach wysokiego zagrożenia pożarowego, korzystanie z prowizorycznych urządzeń grzewczych. Najczęstszymi *technologicznymi* przyczynami pożarów są: obecność w pomieszczeniach łatwopalnego kurzu lub włókien, nieszczelności w zbiornikach i urządzeniach zawierających palne ciecze bądź gazy, egzotermiczne reakcje cieplne, nieprzestrzeganie zasad suszenia pasz, naruszenie trybów eksploatacji urządzeń i systemów grzewczych, niepoprawny montaż sieci zasilającej, tarcie w rurociągach przesyłających substancje palne. Do grupy *naturalnych* przyczyn powstawania pożarów zaliczamy, przede wszystkim: elektryczność atmosferyczną oraz klęski żywiołowe.

2.3. Katastrofy obiektów hydrotechnicznych

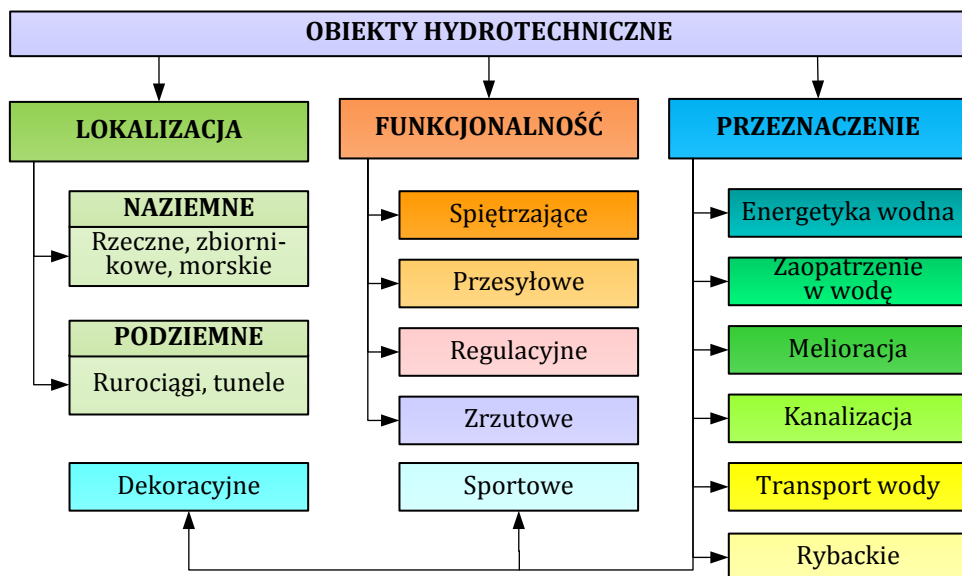
Obiektem niebezpiecznym hydrodynamicznie (ONH) nazywamy budowlę lub naturalne formacje spiętrzające wodę. Poziom lustra wody po obu stronach ONH jest różny i stanowi istotne zagrożenie. Do grupy ONH zaliczamy zapory naturalne oraz wszystkie hydrotechniczne budowle ciśnieniowe. Pojęciem *budowle hydrotechniczne*, określamy wszelkie obiekty przeznaczone do: wykorzystania energii kinetycznej wody, schładzania procesów technologicznych, melioracji i nawadniania, zaopatrzenia w wodę, ochrony przed niszczącą siłą wody itp. Klasyfikację technologiczną budowli hydrotechnicznych zaprezentowano na rys. 9. Na obszarze województwa podkarpackiego, w pierwszej kolejności, spotykamy niewielkie sztuczne zapory o przeznaczeniu ochronnym.



Rys. 9. Technologiczna klasyfikacja obiektów hydrotechnicznych

Klasyfikacje: lokalizacyjna, funkcjonalna i celowa obiektów hydrotechnicznych zostały zaprezentowane na rys. 10.

Przyczyny uszkodzenia bądź zniszczenia obiektów hydrotechnicznych dzielimy na naturalne i antropogeniczne. Najczęstszymi przyczynami *naturalnymi* są: trzęsienia ziemi, tąpnięcia, osunięcia i lawiny ziemne, huragany, intensywne opady, przybór wód, zużycie oraz starzenie się. Do *antropogenicznych* przyczyn uszkodzenia obiektów hydrotechnicznych zaliczamy: działania wojenne, dywersję, nieprzestrzeganie zasad eksploatacji, błędy projektowania i defekty konstrukcyjne.



Rys. 10. Klasyfikacja obiektów hydrotechnicznych

Z punktu widzenia zagrożeń o charakterze katastroficznym, szczególną uwagę należy zwrócić na zbiorniki retencyjne zlokalizowane na Sanie w Solinie oraz Myczkowcach, a także na Wisłoku w Besku. Zbiorniki te położone są w południowej części województwa, w dolnym biegu obu rzek. Ponadto, na terenie Podkarpacia funkcjonuje 30 małych zbiorników retencyjnych o sumarycznej powierzchni 420 ha i pojemności 10 mln m³.

Zapora w Solinie jest największą budowlą hydrotechniczną w Polsce. Posiada ona długość 664 m, wysokość 82 m i kubaturę 760 000 m³. Zapora została zbudowana w latach 1961-68 i zmodernizowana w latach 2000-2003. Tworzy ona Zbiornik Soliński o powierzchni 2200 ha, pojemności 500 mln m³, długości 26,6 km i linii brzegowej o długości 150 km. Zlewnię zbiornika od południa ograniczają góry wododziałowe, rozmieszczone na granicy ze Słowacją, a od wschodu granica Państwa z Ukrainą. *Zapora w Myczkowcach* tworzy dolny zbiornik dla Zespołu Elektrowni Wodnych Solina-Myczkowce. Jej budowę rozpoczęto jeszcze w 1920, ale z powodu braku środków przerwano w 1925 roku. Budowę wznowiono w 1956 i zakończono w 1960 roku. Zapora ma długość 460 metrów, wysokość 17,5 m i kubaturę ichtowego rdzenia 216 tys. m³. Powierzchnia utworzonego zbiornika to 200 ha, a jego pojemność 11 mln m³. *Zbiornik Wodny Besko*, zlokalizowany w miejscowości Sieniawa został oddany do użytku w 1978 roku. Długość betonowej zapory wynosi 174 m, maksymalna wysokość 38 m, powierzchnia zbiornika to 126 ha, a jego pojemność 13 mln m³.

W ostatnich latach, w bezpośrednim sąsiedztwie województwa podkarpackiego miała miejsce katastrofa zbiornika retencyjnego w Rapach Dylańskich. Zbiornik o pojemności 30 tys. m³, w wyniku długotrwałych obfitych opadów został zapeł-

niony 90%. W nocy z 30 na 31 lipca 2011 została rozmyta grobla w miejscowości Rapy. Ze zbiornika wyciekło 6 tys. m³ wody, podtapiając około 100 posesji, w tym 60 domów w Biłgoraju.

Do najbardziej znanych katastrof obiektów hydrotechnicznych na świecie można zaliczyć zdarzenia, które wystąpiły na zaporach Vajont i Malpasset. Pierwsza z nich została zbudowana w latach 1956-61 na rzece Vajont, będącej dopływem Piawy, 100 km na północ od Wenecji. 9 października 1963 r. ze zbocza Monte Toc, na szerokości blisko 3 km, do zbiornika powyżej zapory obsunęło się około 260 mln m³ mieszaniny ziemi i skał. Powstała przy tym fala powodziowa zniszczyła kilka osiedli po przeciwnej stronie zbiornika. Druga fala przedostała się przez koronę zapory i przemieszczając się z szybkością około 100 km na godzinę dokonała spustoszenia w wąskiej dolinie poniżej zapory. Choć sama zaporę nie ucierpiała szczególnie, zbiornik został w znacznej części wypełniony materiałem skalnym i utracił swoje właściwości retencyjne. Zaporę Malpasset, zlokalizowaną w południowo-wschodniej Francji została zbudowana w latach 1952-54. Miała ona wysokość 66 m, długość 222 m, powierzchnia utworzonego przez nią zbiornika wynosiła 2 km² a pojemność 48 mln m³. Zaporę została przerwana 2 grudnia 1959 roku w wyniku obsunięcia się posadowionej na piaskowcach wschodniej części tamy. Przerwanie zapory spowodowało powstanie fali o wysokości 40 m, przemieszczającej się z szybkością 70 km/h wzdłuż koryta rzeki Reyran. W obu opisanych katastrofach ich przyczyną były niedokładnie przeprowadzone badania geologiczne. Zignorowane zostały również, symptomy zagrożeń pojawiające się na kilka dni przed katastrofą.

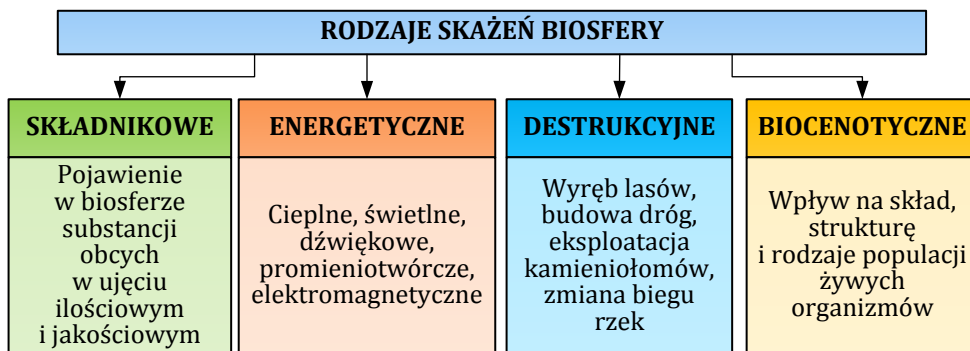
Prawdopodobieństwo uszkodzenia obiektów hydrotechnicznych, zlokalizowanych na obszarze województwa podkarpackiego należy uznać za **minimalne**, zarówno w skutek przyczyn antropogenicznych, jak również naturalnych. Ponieważ ukształtowanie terenu poniżej zapór nie jest typowo wysokogórskie, szacuje się, że zniszczenie każdej z zapór spowodowałoby powstanie fali o wysokości od 3 do 12 metrów, przemieszczającej się z szybkością do 30 km na godzinę.

Przykładem narzędzi informatycznych, wykorzystywanych do modelowania przerwania zapór wodnych jest pakiet programów *MIKE* firmy DHI Water & Environment. Pozwala on m. in modelować: powierzchniowe i denne wymywanie zapory ziemnej; zniszczenie przegrody, śluzy lub sekcji grawitacyjnej zapory; lokalizację obszarów zatapianych; rozplływ strumieni wody po uszkodzeniu zapory. Innym przykładem narzędzia wykorzystywanego do analizy dowolnych typów zapór jest *Bentley FlowMaster* firmy Bentley.

2.4. Katastrofy ekologiczne

W wyniku rozwoju przemysłu, transportu, energetyki oraz industrializacji rolnictwa w miejsce biosfery, naturalnego środowiska życia człowieka pojawiła się technosfera. Pojęciem *biosfery* określamy dolną część atmosfery, głębę otaczającą systemy korzeniowe roślin, całą hydrosferę oraz górną część litosfery Ziemi. Biosfera, to część Ziemi zasiedlona przez żywe organizmy. Termin *technosfera* wy-

wodzi się z języka greckiego (*techne* – sztuka, rzemiosło oraz *sphaira* – kula, sfera) i oznacza fragment biosfery, przekształcony za pomocą bezpośredniego i pośredniego wpływu środków technicznych, w celu zapewnienia zgodności ze społeczno-gospodarczymi potrzebami człowieka. Codzienna aktywność ludzka generuje znaczne ilości różnorodnych odpadów naruszających naturalne proporcje pierwiastków w przyrodzie i zanieczyszczających biosferę. Klasyfikację skażeń biosfery przedstawiono na rys. 11.



Rys. 11. Klasyfikacja skażeń biosfery

Słowo katastrofa pochodzi od greckiego słowa *katastrophe*, oznaczającego obrót lub przewrót. *Katastrofa ekologiczna* to niezbalansowane, niestacjonarne przekształcanie otoczenia, którego konsekwencją jest istotna zmiana środowiska naturalnego.

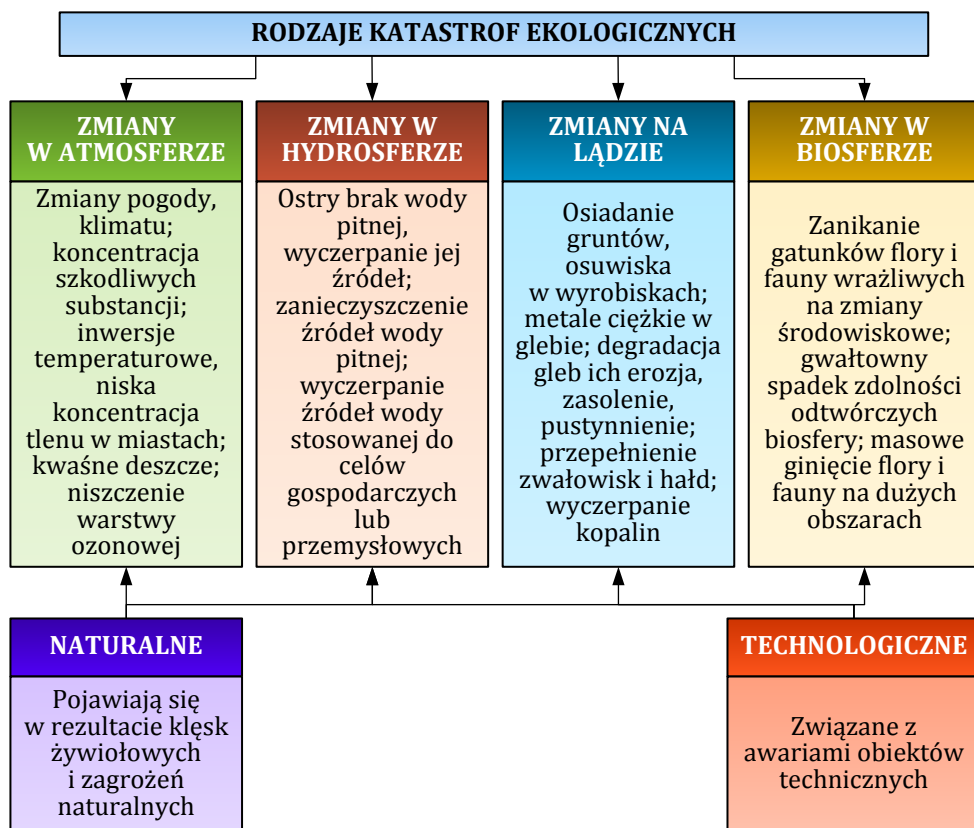
Wiek XX obfitował w katastrofy ekologiczne będące pośrednim skutkiem działalności człowieka. Kilka charakterystycznych przykładów takich katastrof przedstawiono poniżej. 26 kwietnia 1986 roku w wyniku zniszczenia czwartego bloku elektrowni atomowej w Czarnobylu doszło do wybuchu reaktora jądrowego i emisji substancji radioaktywnych do atmosfery, wód powierzchniowych i gruntowych. Ze skażonych radioaktywnie terenów wysiedlono 336 tys. osób. W pierwszych dniach po wypadku zmarło 57 napromieniowanych osób. Spośród 600 tys. pracowników biorących bezpośredni udział w likwidacji skutków awarii, do chwili obecnej na nowotwory zmarło ponad 4 tysiące. Szacuje się, że sumaryczne wydatki na usuwanie skutków awarii, ewakuację ludności oraz odszkodowania wyniosły 200 miliardów dolarów.

24 marca 1989 roku, kapitan tankowca *Exxon Valdez* na krótko opuścił mostek. W rezultacie statek uderzył w rafę i do morza wylało się 10,8 mln galonów ropy (ponad 30 tysięcy metrów sześciennych). Ten wyciek nie był największym pod względem ilości, jednak na ogromne koszty usuwania plamy ropy naftowej miała wpływ odległość miejsca katastrofy od brzegu. Likwidacja skutków katastrofy kosztowała 2,5 miliarda dolarów.

13 listopada 2002 roku, podczas silnego sztormu u wybrzeży Hiszpanii uległ zniszczeniu przewożący 77 000 ton oleju opałowego tankowiec *Prestige*. Pod na-

porem fal, statek przełamał się i zawartość jego ładowni zanieczyściła ocean. Usuwanie skutków tej katastrofy kosztowało około 12 miliardów dolarów.

Klasyfikacja katastrof ekologicznych została przedstawiona na rys. 12.



Rys. 12. Klasyfikacja katastrof ekologicznych

3. Podsumowanie i dalsze prace

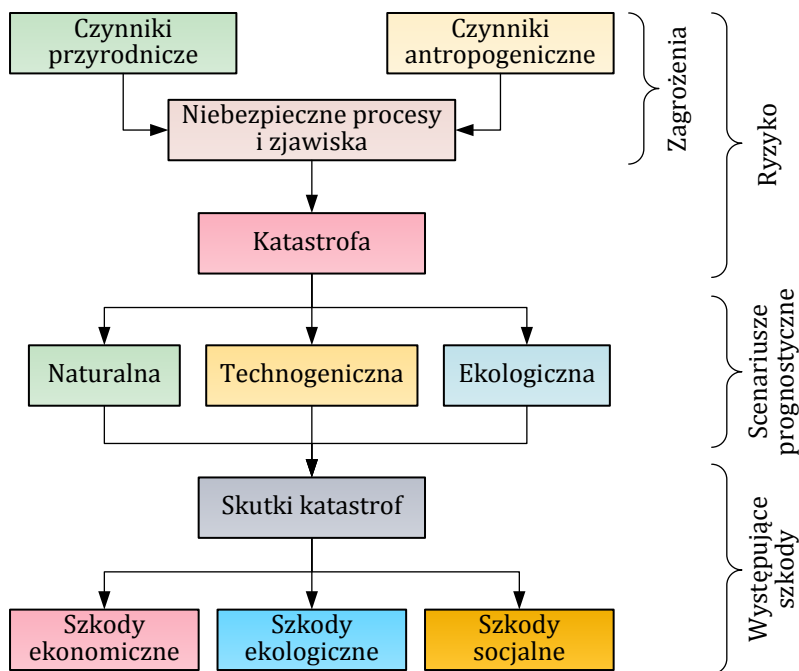
Jednym z celów zaprezentowanych prac klasyfikacyjnych była systematyzacja terminologiczna obszaru badań. Terminami szeroko wykorzystywanymi w procesie analizy zagrożeń są: *niebezpieczeństwo*, *ryzyko* oraz *katastrofa*. Chociaż formalnie terminy *niebezpieczeństwo* i *ryzyko* mają różne znaczenie, często używane są synonimicznie. Z punktu widzenia analizy zjawisk o charakterze katastroficznym, definicja obu tych terminów nie powinna opierać się na klasycznych określeniach, a bazować na metodologicznych podstawach analizy i oceny zachodzących zjawisk.

W klasycznej literaturze, ryzyko to kombinacja prawdopodobieństwa i skutków wystąpienia niekorzystnych zdarzeń. W szerokim znaczeniu, jest ono charakterystyką sytuacji, posiadającej niepewność pojawienia się niekorzystnych skutków.

W wąskim znaczeniu, ryzyko to ilościowa ocena niebezpieczeństw, która jest określana, jako częstotliwość jednego zdarzenia w przypadku wystąpienia innego. Ryzyko to również nieokreślone zdarzenie lub warunek, który w przypadku wystąpienia ma pozytywny lub negatywny wpływ na reputację firmy, prowadzi do zysków lub strat w wyrażeniu pieniężnym.

Zazwyczaj, ryzyko pojawia się jednocześnie z nieprzewidywalnością i niepewnością przyszłości i wyraża się w postaci oczekiwania na zagrożenia i możliwość ich zaistnienia. Podstawą terminu *ryzyko* jest jego antropocentryczny charakter, pojawienie się ryzyka jest możliwe tylko tam, gdzie narażone jest bezpieczeństwo człowieka.

Można przyjąć, że najtrafniejszym określeniem ryzyka jest przedstawienie go jako ilościowej miary zagrożeń, opisanej prawdopodobieństwem zaistnienia niebezpiecznych wpływów z negatywnymi skutkami. Podstawowym celem określania ryzyka jest wykorzystanie go w procesie podejmowania decyzji. Bazując na powyższych założeniach, dokonano klasyfikacji relacji pomiędzy pojęciami: zagrożenie, katastrofa i ryzyko. Zaproponowana klasyfikacja pozwala traktować powyższe kategorie, jako samodzielne, wzajemnie powiązane komponenty jednolitego systemu. Systemowe odwzorowanie tych kategorii pokazano na rys. 13.



Rys. 13. Systemowe odwzorowanie kategorii: zagrożenie, katastrofa, ryzyko

Głównym przedmiotem dalszych badań będą niebezpieczne procesy i zjawiska, w szczególności ich analiza w warunkach nieokreśloności, z wykorzystaniem immunologii i genetyki.

Bibliografia

- [1] K. A. Kobbacy i P. D. Murthy, Redaktorzy, *Complex System Maintenance Handbook*, London: Springer-Verlag London Limited, 2008.
- [2] C. S. Wasson, *System Analysis, Design, and Development: Concepts, Principles, and Practices*, New Jersey: Wiley-Interscience, 2005.
- [3] R. B. Northrop, *Introduction to Complexity and Complex Systems*, New York: CRC Press, 2010.
- [4] A. Jarominiak i A. Rosset, *Katastrofy i awarie mostów*, Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1986.
- [5] J. F. Lancaster, *Engineering Catastrophes Causes and Effects of Major Accidents*, III ed., Boca Raton: CRC Press, 2005.
- [6] D. Morris and E. McGann, *Catastrophe*, Pymble: HarperCollins Publishers, 2009.
- [7] N. Ghafoori, Ed., *Challenges, Opportunities and Solutions in Structural Engineering and Construction*, Leiden: CRC Press, 2010.
- [8] C. S. Desai i M. Zaman, *Advanced Geotechnical Engineering. Soil - Structure Interaction Using Computer and Material Models*, Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [9] M. Randolph i S. Gourvenec, *Offshore Geotechnical Engineering*, Abingdon: Spon Press, 2011.
- [10] L. Davis, *Natural Disasters*, II ed., New York: Facts On File, 2009.
- [11] J. Ingleton, Red., *Natural Disaster Management*, Leicester: Tudor Rose, 1999.
- [12] A. M. Gunn, *Encyclopedia of Disasters: Environmental catastrophes and human tragedies*, Westport: GREENWOOD PRESS, 2008.
- [13] M. Żuber, Red., *Katastrofy naturalne i cywilizacyjne*, Wrocław: Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych, 2006.