

Izabela SKRZYPCZAK, Wanda KOKOSZKA, Rafał ROJOWSKI, Janusz KOGUT

ZAGROŻENIA INFRASTRUKTURY KOMUNIKACYJNEJ NA TERENACH OSUWISKOWYCH I ZALEWOWYCH

Streszczenie

Osuwiska jak i powodzie należą do naturalnych zagrożeń, powodujących straty zarówno w środowisku naturalnym jak i antropogenicznym (infrastruktura budowlana). Na terenie gmin Polski południowo-wschodniej występuje zarówno ryzyko powodziowe jak i ryzyko osuwiskowe. Te dwa zagrożenia bardzo często idą w parze. Długotrwałe opady powodują podtopienia infrastruktury kolejowej w pobliżu cieków wodnych i równoległe uruchamiają procesy osuwiskowe na zboczach powyżej dolin rzecznych. Znajomość warunków hydrogeologicznych oraz monitorowanie parametrów geotechnicznych i hydrologicznych danego terenu jest podstawą prognozowania wystąpienia tych zagrożeń oraz szacowania ryzyka. Stąd w artykule podkreślono kwestię spójności systemów monitoringu i ostrzegania dla tych dwóch zagrożeń. Obecnie dla osuwisk działa SOPO (System Osłony Przeciwośuwiskowej) a dla terenów zalewowych ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju), zauważalny jest jednak brak integralności tych dwóch systemów. Przedstawiona zostanie propozycja określenia łącznego ryzyka dla tych zagrożeń (iloczyn kartezjański oraz metoda Bayesa) oraz metodyka analiz. Omówione zostanie również zagadnienie relacji między ilością informacji a ryzykiem, bowiem tylko właściwie określone ryzyko pozwala na podejmowanie odpowiednich działań prewencyjnych i zmniejsza koszty ewentualnych skutków zagrożeń naturalnych.

WSTĘP

Gwałtowny rozwój urbanizacji w ostatnich dziesięcioleciach znacznie zwiększa ryzyko narażenia społeczeństw na skutki geozagrożeń takich jak osuwiska, powodzie, osiadania, ekstremalne temperatury, trzęsienia ziemi. Powodem takiej sytuacji to, z jednej strony nieumiejętności rozpoznania przez inwestorów tych form zagrożeń, z drugiej strony chęć wykorzystywania pod zabudowę terenów atrakcyjnych gospodarczo i turystycznie. Przeprowadzone w ostatnim czasie badania pokazują [1], że w XX wieku aż 75% ofiar wypadków odnotowano na skutek osuwisk i powodzi.

Na terenie gmin Polski południowo-wschodniej występuje zarówno ryzyko powodziowe jak i ryzyko osuwiskowe. Te dwa zagrożenia bardzo często idą w parze. Długotrwałe opady powodują podtopienia budynków położonych w pobliżu cieków wodnych i równoległe uruchamiają procesy osuwiskowe na zboczach powyżej dolin rzecznych. Znajomość warunków hydrogeologicznych oraz monitorowanie parametrów geotechnicznych i hydrologicznych danego terenu jest podstawą prognozowania wystąpienia tych zagrożeń oraz szacowania ryzyka. Szkody na polskich szlakach komunikacyjnych w gminach wyrządzone przez powódź i osuwiska w 2010 r. oszacowano na 426 mln euro. Tak więc występowanie powodzi i osuwisk to problem nie tylko natury planistycznej, to przede wszystkim problem natury finansowej. Tak ogromne straty pociągają za sobą konieczność dokonania przesunięć budżetowych w gminach. Doświadczenia z 2010 r. utwierdzają w przekonaniu, że geozagrożenia są nieodłącznym elementem gospodarki przestrzennej.

Problem pozyskiwania nowych terenów pod inwestycje i wyzwanie możliwości zagospodarowania przestrzennego obecnych terenów, pozwala zrozumieć, że nie sposób zupełnie wykluczyć zabudowy na obszarach osuwiskowych i powodziowych. Obecnie dużym wyzwaniem, zarówno w skali globalnej jak i lokalnej, jest szacowanie ryzyka związanego z zagrożeniami geologicznymi i hydrologicznymi. Bardzo często brakuje formalnych wytycznych (odpowiednie akty prawne i normatywy) dla prawidłowego funkcjonowania procedur określania ryzyka czy kwestia spójności syste-

mów monitoringu i ostrzegania dla tych dwóch zagrożeń. Obecnie dla osuwisk działa SOPO (System Osłony Przeciwośuwiskowej) a dla terenów zalewowych ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju), zauważalny jest jednak brak integralności tych dwóch systemów.

1. GEOZAGROŻENIA A ZAGOSPODAROWANIE PRZESTRZENNE

Realizacja inwestycji na osuwisku czy terenie osuwiskowym lub terenach zagrożenia powodziowego jest możliwa, jeśli jest to połączone z działaniami technicznymi umożliwiającymi nie tylko rozpoznanie zagrożenia, ale również oszacowanie ryzyka. Wykonana, po rozpoznaniu zagrożenia, ocena ryzyka oraz kalkulacja ekonomiczna inwestycji wskaże, czy opłaca się inwestować w takie tereny. Czy może, ze względu na koszt koniecznych zabezpieczeń, nie? Problem ten dotyczy nie tylko budownictwa indywidualnego, czy budownictwa użyteczności publicznej, między innymi projektowania i wykonawstwa obiektów liniowych służących komunikacji drogowej i kolejowej, które należy kształtować z uwzględnieniem oceny zagrożenia, ale również zapewnienia bezpieczeństwa ludzi oraz istniejącej infrastruktury budowlanej. Doświadczenia z ostatnich dziesięcioleci (lata 1997-2010) wskazują, że konieczne jest opracowanie odrębnych zasad budowania i utrzymania obiektów komunikacyjnych na terenach szkód powodziowych [2].

1.1. Osuwiska a zagospodarowanie przestrzenne

„Osuwisko jest formą powstałą w wyniku ruchów grawitacyjnych, powodujących szybkie przemieszczenie mas skalnych zgodnie z kierunkiem siły grawitacji, w wyniku których materiał na zboczach jest przemieszczany z wyższych partii do niższych”[3]. Obok budowy geologicznej, do głównych czynników mających wpływ na powstanie osuwiska należą nachylenie stoku oraz występowanie ulewnych opadów o dużym zasięgu przestrzennym. Nasycona wodą zwietrzelnina zlokalizowana pomiędzy warstwą gruntu, a litą skałą przybiera konsystencję mazi i umożliwia ruch położonych na niej, ciężkich, nasyconych wodą warstw gruntu.

Znaczącym kryterium w planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym na terenach osuwiskowych wydaje się podział oparty na ich aktywności, rozumianej jako zachowanie się mas skalnych określone w czasie. Ze względu na tę cechę osuwiska dzieli się na [4]:

- osuwiska aktywne okresowo (periodyczne) - to osuwiska, w obrębie których objawy aktywności występowały w nieregularnych odstępach czasu, w ciągu ostatnich 50 lat,
- osuwiska aktywne ciągle (chroniczne) - to osuwiska będące w ciągłym ruchu, do momentu osiągnięcia równowagi zbocza,
- osuwiska nieaktywne (ustabilizowane) - to osuwiska, w obrębie których nie obserwowano i nie udokumentowano objawów aktywności w ciągu co najmniej 50 lat.

Wielu zjawisk osuwiskowych nie da się przewidzieć, ani przeciwdziałać, bowiem główne czynniki powodujące ruch mas ziemnych należą do grupy czynników poza antropogenicznych. Bardzo ważnym więc aspektem w zagospodarowywaniu terenów osuwiskowych jest świadomość obywateli i władz lokalnych, która pozwoli na minimalizowanie szkód spowodowanych ruchami ziemi. Do działań zapobiegawczych należy stworzenie sprawnego systemu informacji o osuwisku, odpowiednie użytkowanie terenów narażonych na osuwanie się mas ziemnych, działania mające na celu zmniejszenie negatywnego oddziaływania wód opadowych i gruntowych, czy mechaniczna poprawa właściwości skał [5].

1.2. Tereny zalewowe a zagospodarowanie przestrzenne

„Tereny zalewowe stanowią obszar położony bezpośrednio wzdłuż rzeki, stanowiący część doliny rzecznej, który zalewany jest w okresach wezbrań i powodzi, gdy ilość wody prowadzonej rzeką nie mieści się w korycie. Powinien być to teren wyłączony spod zabudowy, aby w przypadku wezbrania można było bezpiecznie przeprowadzić wielką wodę bez ponoszenia znacznych strat, chroniąc jednocześnie tereny intensywnie zurbanizowane. Tereny zalewowe może być podzielony na różne strefy zagrożenia powodziowego w zależności od przyjętego prawdopodobieństwa wystąpienia wezbrania. Zgodnie z nowelizacją ustawy, strefy zalewowe wyznaczane będą dla wód o prawdopodobieństwie występowania powodzi raz na 10, 100 i 500 lat.” [4].

Polityka zagospodarowania przestrzennego powinna zapewnić ochronę przed powodzią (w ramach ochrony wód). Te dwa aspekty powinny być ze sobą powiązane, tzn. planowanie przestrzenne powinno uwzględniać uwarunkowania środowiskowe, w tym ograniczenia w intensywnym zagospodarowaniu terenów zalewowych czy osuwiskowych.

Istotną rolę w zagrożeniu powodzią odgrywa rzeźba terenu. Płaskie tarasy wzdłuż brzegów rzek, stanowiące część doliny rzecznej, zwykle zalewane w okresach powodzi to tzw. obszary (tereny) zalewowe. Wraz z rozwojem miast są one często zabudowywane, zwłaszcza zabudową mieszkalną, lecz także infrastrukturalną, szczególnie niebezpieczną na takich terenach. Następstwem wystąpienia powodzi w miastach, w porównaniu z terenami otwartymi lub wiejskimi, są najczęściej bardzo wysokie straty i szkody. Straty w wyniku powodzi w 2010 roku w Polsce ogółem wyniosły 12,5 mld zł, z czego prawie 2 mld zł w mieniu prywatnym [7].

Zasadniczymi przyczynami wysokich strat są w odniesieniu do terenów osuwiskowych jak i zalewowych to:

- gęsta zabudowa (miejska) i lokalizowanie obiektów infrastruktury technicznej na tych terenach,
- znaczące zmniejszenie lub całkowite wyeliminowanie infiltracji w następstwie tendencji do uszczelniania powierzchni terenu (zwiększające zagrożenie powodziowe),
- podcinanie skarp przy realizacji infrastruktury komunikacyjnej (zwiększające zagrożenie osuwiskowe),

- nadmierne i nieuzasadnione przekonanie o niezawodności technicznych środków ochrony przeciwpowodziowej (wałów przeciwpowodziowych i zbiorników retencyjnych) czy przeciwo-suwiskowych (ściany oporowe, gwoździowanie czy drenaże).

2. UWARUNKOWANIA PRAWNE

2.1. Tereny osuwiskowe

Najważniejsze akty prawne w Polsce dotyczące problemu osuwiskto:

- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo Ochrony Środowiska (Dz. U. 2001, Nr 62, poz. 627) - podająca definicję ruchów masowych ziemi, oraz nakładająca na starostę obowiązek rejestracji terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi oraz terenów, na których występują te ruchy,
- Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz. U. 2004, Nr 121, poz. 1266) - zobowiązująca właścicieli gruntów rolnych i leśnych do przeciwdziałania ruchom masowym ziemi,
- Ustawa z dnia 18 kwietnia 2002 r. o stanie klęski żywiołowej ” (Dz. U. 2002 Nr. 62 poz. 558) - nadająca osuwiskom charakter katastrofy naturalnej, dla zapobiegania lub usuwania której celowym może stać się ogłoszenie stanu klęski żywiołowej,
- Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz. U. 2003, Nr 80, poz. 717) - narzucająca na wójta, burmistrza lub prezydenta miasta obowiązek uwzględniania terenów osuwiskowych w zapisach i treści graficznej zarówno studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy, które jest dokumentem obligatoryjnym dla całego obszaru gminy, jak i w miejscowych planach przestrzennych. Ponadto ww. ustawa zobowiązuje organ wykonujący studium lub plan do wystąpienia o opinie dotyczące rozwiązań studium lub planu do właściwego organu administracji geologicznej,
- Ustawa z dnia 17 lipca 1994r. Prawo budowlane (Dz. U. 2006, Nr 156, poz. 1118 z późn. zm.) oraz Ustawa z dnia 11 sierpnia 2001 r. o szczególnych zasadach odbudowy, remontów i rozbiórek obiektów budowlanych zniszczonych lub uszkodzonych w wyniku działania żywiołu (Dz. U. Nr 84, poz. 906 z późn. zm.) - regulują kwestie katastrofy budowlanej, powstałej w wyniku osuwania się mas ziemnych.

Do podstawowych źródeł informacji o osuwiskach wykorzystywanych w procesie planowania przestrzennego zalicza się obecnie opracowania powstałe w wyniku realizacji projektu SOPO - Systemu Osłony Przeciwo-suwiskowej. Jest to rozpoczęty w 2006 r. projekt kartograficzny, realizowany przez specjalistów Państwowego Instytutu Geologicznego, przedsiębiorstw geologicznych oraz jednostek naukowych. Realizację projektu SOPO podzielono na cztery etapy:

- ETAP I (2006-2008) - Kartowanie pilotażowe osuwisk wraz z wytypowaniem obszarów ich występowania w Polsce,
- ETAP II (2008-2015) - Kartowanie i wykonywanie map osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi dla obszaru Karpat Polskich (75% powierzchni) oraz monitorowanie wybranych osuwisk w Karpatach,
- ETAP III (2016-2018) i ETAP IV (2018-2022) - Kartowanie i wykonywanie map osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi dla obszaru Karpat polskich oraz monitorowanie wybranych osuwisk w Karpatach. Wynikiem pracy specjalistów są Karty rejestracyjne osuwisk (KRO) oraz Karty rejestracyjne terenów zagrożonych ruchami masowymi (KRTZ) opracowywane zgodnie z przyjętym w pierwszym etapie realizacji projektu wzorem i stanowiące podstawowy dokument rejestracji osuwisk gromadzony przez starostów. W ramach SOPO powstają Mapy

Osuwisk i Terenów Zagrożonych Ruchami Masowymi (MOTZ) sporządzane w skali 1:10000, zestawione w obrębie gmin - w przypadku terenów karpaccich, oraz powiatów - dla Polski pozakarpacciej. Karty rejestracyjne są bowiem gromadzone w przygotowanej bazie danych SOPO, dostępne są dla użytkowników pod adresem osuwiska.pgi.gov.pl

2.2. Tereny powodziowe

Planowanie przestrzenne i zagospodarowanie terenów zalewowych tak jak terenów osuwiskowych jest regulowane przez wiele aktów prawnych. Najważniejsze z nich to:

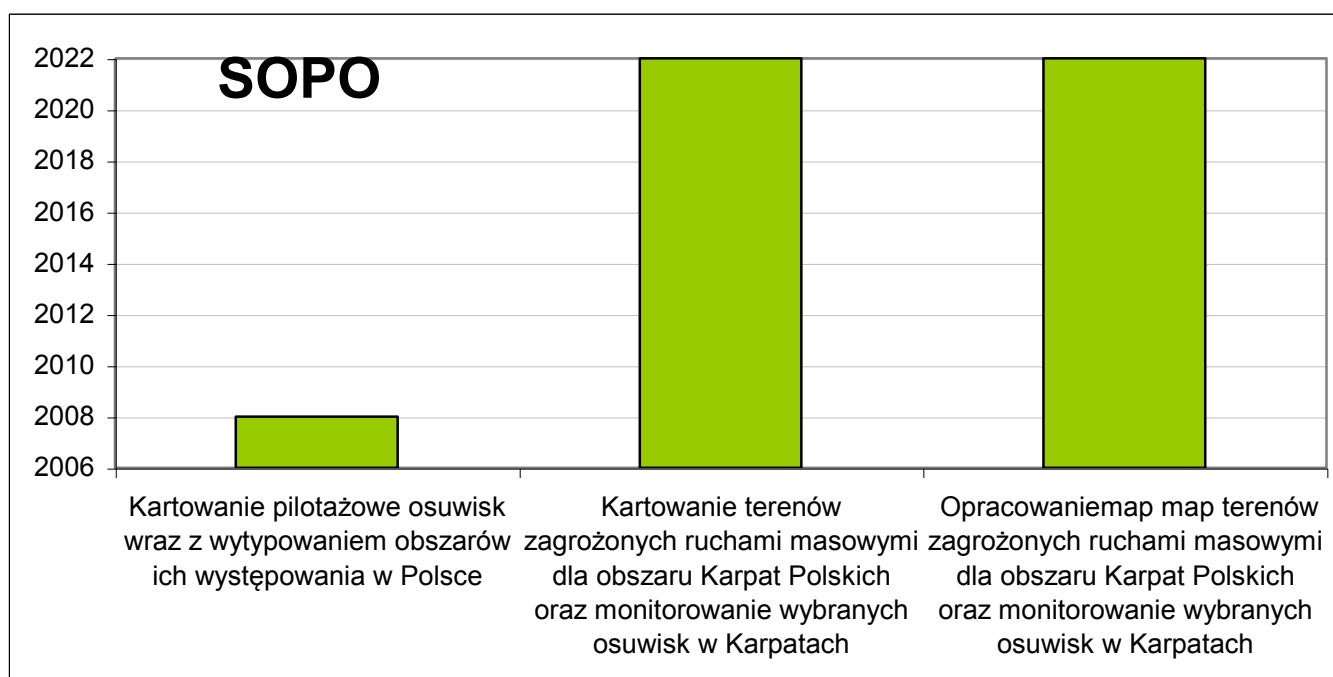
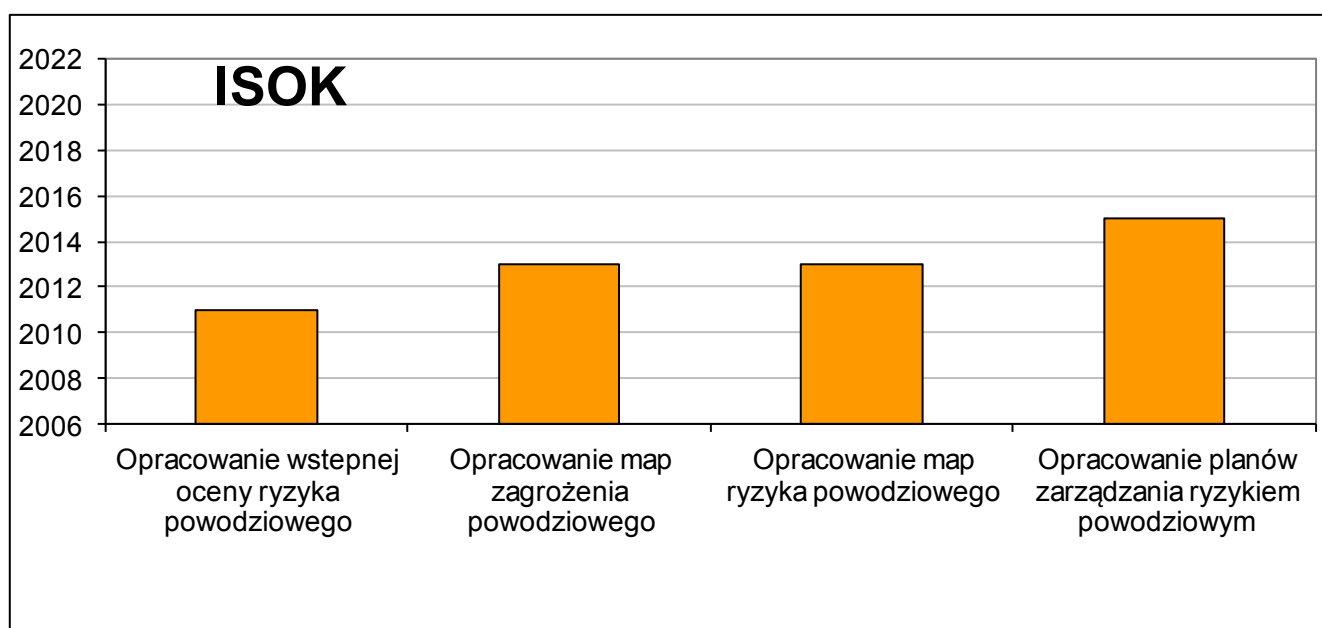
- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 w sprawie ustanowienia ram dla działalności Wspólnoty w dziedzinie polityki wodnej (tzw.

ramowa dyrektywa wodna – dalej RDW),

- Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim (tzw. dyrektywa powodziowa),
- Ustawa Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001 r. Dz.U., nr 115, poz. 1229 z późn. zm.,
- Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym z dnia 27 marca 2003. Dz.U., nr 80, poz. 717 z późn. zm.

Należy podkreślić, że jedynie część obszarów narażonych na wystąpienie powodzi, zwanych ze względu na swoje ukształtowanie i inne uwarunkowania geo- i hydromorfologiczne terenami zalewowymi, jest objęta unormowaniami prawnymi.

Aktem prawnym przyczyniającym się do zmniejszenia skutków powodzi w Unii była „dyrektywa powodziowa”, w której przedstawi-



Rys. 1. Harmonogram działań związanych z realizacją projektu ISOK oraz projektu SOPO.

no zasady oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim. Państwa członkowskie miały obowiązek dokonania „wstępnej oceny ryzyka powodziowego”, na podstawie której określone zostaną „obszary, na których występuje duże ryzyko powodziowe lub jego wystąpienie jest prawdopodobne”. W Polsce zostało to zrealizowane zgodnie z wymogami do końca 2011 roku. Dla powyższych obszarów do 2013 roku miały zostać przygotowane „mapy zagrożenia powodziowego i ryzyka powodziowego” (art. 6 ust. 1. dyrektywy powodziowej [6]). Celem nadrzędnym zarządzania ryzykiem powodziowym jest położenie „[...] szczególnego nacisku na ograniczenie potencjalnych negatywnych konsekwencji powodzi dla zdrowia ludzkiego, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej oraz jeżeli zostanie to uznane za właściwe, na działania nietechniczne lub na zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi”.

Z informacji uzyskanych w Wydziale Ochrony Przeciwpowodziowej Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej wynika, że przekazanie map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego nastąpi w formie cyfrowej. Ponieważ mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego są wykonywane w ramach projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju), zostaną one również opublikowane na stronie internetowej projektu: <http://www.isok.gov.pl/>.

2.2. SOPO i ISOK

Oba projekty: SOPO (System Osłony Przeciwsuwiskowej) a dla terenów zalewowych ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju) realizowane są odrębnie i zauważalny jest brak integralności tych dwóch systemów (Rys. 1) . Należy pamiętać, że te dwa zagrożenia bardzo często są skorelowane i należy dążyć do kompatybilności obu tych systemów. Przedstawione na mapach geozagrożenia powinny zostać uwzględnione w:

- koncepcji przestrzennego zagospodarowania kraju,
- planie zagospodarowania przestrzennego województwa,
- studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy,
- miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego,
- decyzji o ustaleniu lokalizacji inwestycji celu publicznego lub decyzji o warunkach zabudowy.

Deficyt dostępnego miejsca, a co za tym idzie chęć do wykorzystania każdej, niezagospodarowanej dotychczas przestrzeni może odgrywać istotną rolę w rozważaniach na temat zagospodarowania terenów zalewowych i osuwiskowych. Im większy udział takich terenów w całkowitej powierzchni miasta, tym większe mogą być problemy związane z racjonalnym zagospodarowaniem takich terenów. W świetle obowiązującego prawa kluczową rolę w gospodarowaniu terenami zalewowymi oraz terenami zagrożonymi ruchami masowymi odgrywają jednostki samorządu terytorialnego. Jednostki samorządu terytorialnego są zobowiązane do sporządzania studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego i miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego z uwzględnieniem map terenów zagrożonych ruchami masowymi oraz powodziowego oraz map ryzyka powodziowego. W przypadku kompatybilności i spójności opracowań map terenów narażonych na geozagrożenia potencjalni inwestorzy takich terenów zyskają informację o istniejących zagrożeniach i ryzyku [7].

3. RYZYKO A ZAGROŻENIA

Ryzyko jest nietrywialnym do zdefiniowania pojęciem i wiele kontrowersji łączy się z próbami jego określenia. Wieloznaczność tego terminu utrudnia skonstruowanie jednoznacznej, uniwersalnej definicji. Zwykle przyjmuje się, że ryzyko oznacza sytuację lub zjawiska polegające na tym, że na skutek niepełnej informacji podejmowane są decyzje, które nie są optymalne z punktu widzenia przyjętego

celu [3]. Bardzo często ryzyko utożsamia się z prawdopodobieństwem wystąpienia zdarzenia niepożądanego [4,5,6], z prawdopodobieństwem zdarzenia ocenianego negatywnie, czy prawdopodobieństwem poniesienia straty [7]. Jeszcze inny termin na określenie ryzyka można znaleźć w [8], gdzie ryzyko zostało zdefiniowane jako ilościowe i jakościowe wyrażenie zagrożenia, stopień lub miara zagrożenia; jest to prawdopodobieństwo negatywnego zjawiska i jego skutków. W budownictwie zgodnie z [9,10] ryzyko jest miarą zagrożenia definiowaną jako kombinacja prawdopodobieństwa i skutków zajścia niepożądanego zdarzenia. Zagrożenie E_i oznacza możliwość wystąpienia zdarzenia powodującego utratę życia, zdrowia ludzi i/lub straty materialne, społeczne, ekologiczne. W przypadku losowego charakteru zdarzeń są one traktowane jako zdarzenia losowe a ryzyko jest wielkością zdeterminowaną lub losową i można je obliczyć za pomocą wzoru (1):

$$R = \sum_{i=1}^n p(E_i) \cdot D_i \quad (1)$$

gdzie: E_i – prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanego zdarzenia, D_i – straty związane z wystąpieniem tego zdarzenia.

W normie PN-EN 1991-1-7:2008 [17] Oddziaływania na konstrukcje przewidziano dwie metody analizy ryzyka dotyczącego budynków i budowli:

- analizę jakościową polegającą na identyfikacji zagrożeń i odpowiadających im scenariuszy oddziaływań oraz podstawowego sposobu użytkowania konstrukcji w celu wykazania, że ich następstwa dla bezpieczeństwa są akceptowalne,
- analizę ilościową.

Analizę ilościową ryzyka obliczoną jako wartość ryzyka w jednostkach monetarnych zgodnie ze wzorem (1) należy traktować jako wielkość nominalną, która nie ma bezpośredniego odniesienia do nakładów finansowych poniesionych w wypadku zniszczenia konstrukcji. Uwzględniając fakt, że największe dopuszczalne prawdopodobieństwo p_{fd} zniszczenia konstrukcji, której koszt w pełnym cyklu życia obiektu wynosi $C(S)$, zakwalifikowanej do odpowiedniej klasy niezawodności ($RCX = \{RC3, RC2, RC1\}$), dla okresu odniesienia T_0 , określono w normie PN-EN 1990:2004 [16]. Miarę ryzyka związanego z analizowaną sytuacją wyjątkową, a więc wystąpieniem osuwiska lub powodzi można przyjąć indeks ryzyka i_R zaproponowany przez Wolińskiego Sz. w [15] (wzór 2 i 3):

$$i_R = \frac{R}{R_{ac}} \quad (2)$$

$$R_{ac} = p_{fd}(RCX; T_0) \cdot C(S) \quad (3)$$

Najczęściej przyczynami katastrof są czynniki lub okoliczności nieuwzględnione w fazie projektowania i ocenie stanu technicznego. W takiej sytuacji, systematyczna analiza i ocena ryzyka jest zalecana jako najbardziej właściwa i obiecująca metoda zapewnienia zadowalającego poziomu odporności konstrukcji na oddziaływania wyjątkowe, w tym zagrożenia związane z osuwiskiem i powodzią [11-15].

3.1. Wzór Bayesa a ryzyko

Wzór Bayesa, jest powszechnie stosowany w statystyce i przyczynił się do rozwoju współczesnego rynku finansowego (wycena instrumentów pochodnych). Wzór ten związany jest z pojęciem prawdopodobieństwa całkowitego, czyli prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia, które może zajść po uprzednim zajściu pewnych warunków. Najczęściej stosowana formuła tego twierdzenia ma postać: jeżeli skutek A może nastąpić po zaistnieniu jednej z jedynej możliwych, wykluczających się przyczyn B_1, B_2, \dots, B_n , to prawdopodobieństwo zajścia skutku A wyraża się wzorem (4):

$$P(A) = P(B_1)P(A|B_1) + P(B_2)P(A|B_2) + \dots + P(B_n)P(A|B_n) \quad (4)$$

Z powyższego twierdzenia wynika kolejne, nazywane twierdzeniem Bayesa. Jeżeli A jest zdarzeniem o dodatnim prawdopodobieństwie, a zdarzenia B_1, B_2, \dots, B_n spełniają warunki (a), (b) i (c): (a) wykluczającymi się parami tzn. $B_i \cap B_j = \emptyset$ dla $i \neq j$, (b) o dodatnich prawdopodobieństwach zajścia, tzn. $P(B_i) > 0$ dla $i = 1, 2, \dots, n$, (c) takimi, że ich suma jest zdarzeniem pewnym, tzn. $B_1 \cup B_2 \cup \dots \cup B_n = \Omega$, to prawdopodobieństwo warunkowe $P(B_i/A)$ zdarzenia B_i pod warunkiem A określone jest równością (5):

$$P(B_i / A) = \frac{P(B_i)P(A / B_i)}{P(B_1)P(A / B_1) + P(B_2)P(A / B_2) + \dots + P(B_i)P(A / B_i)} \quad (5)$$

Twierdzenie Bayesa można zdefiniować następująco: jeżeli skutek A wystąpił po zaistnieniu jednej z jedynie możliwych, wykluczających się przyczyn B_1, B_2, \dots, B_n , to prawdopodobieństwo tego, że przyczyną zajścia skutku A była przyczyna B_i , wyraża się wzorem (5). Twierdzenie Bayesa określa zatem prawdopodobieństwo przyczyny, gdy wiemy, że nastąpił pewien skutek możliwy do spowodowania przez nią.

4. PRZYKŁAD LICZBOWY SZACOWANIA RYZYKA

Przedmiotem analizy jest wiadukt kolejowy na drodze krajowej zakwalifikowany zgodnie z normą PN-EN 1990 [16] do 3 klasy konsekwencji zniszczenia CC3 oraz klasy niezawodności RC3. Sytuacja wyjątkowa konstrukcji jest spowodowana wystąpieniem zagrożenia osuwiskiem oznaczonym jako zagrożenie H_i , (np. zagrożenie osuwiskiem poprzez wystąpienie ulewnych deszczy), które może wystąpić z prawdopodobieństwem $p(H_i) = 0,01$ i spowodować uszkodzenie zniszczenie fundamentów obiektu D_1 , z prawdopodobieństwem warunkowym $p(D_1|H_i) = 0,01$.

Prawdopodobieństwo $p(H_i)$ ustalono uwzględniając duże zagrożenie osuwiskiem, stąd wartość 0,01. Skutki lokalnych uszkodzeń dla całej konstrukcji zdefiniowane jako zniszczenie fragmentu konstrukcji S_1 , określone poprzez warunkowe prawdopodobieństwo zgodnie ze wzorem (4) wyniesie: $p(S_1|D_1) = 0,0001$. Konsekwencje zniszczenia fragmentu konstrukcji to $C(S_1) = 6\,000\,000$ złotych. Na podstawie wzoru (1) obliczona wartość ryzyka to $R = 612,12$. Akceptowalne ryzyko zniszczenia konstrukcji zaliczonej do klasy niezawodności RC3 dla okresu odniesienia $T_0 = 100$ lat [15], z uwzględnieniem kosztów inwestycji w pełnym cyklu życia obiektu $C(S) = 16\,000\,000$ złotych, wynosi:

$$R_{ac} = p_{rid} \times C(S) = 8,5 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^6 = 1275$$

Stosunek ryzyka związanego ze zniszczeniem konstrukcji w wyniku rozpatrywanej sytuacji wyjątkowej i ryzyka akceptowalnego wynosi: $i_R = R/R_{ac} = 1275/612,12 = 2,08$ to znaczy, że ryzyko zniszczenia konstrukcji dwukrotnie przekracza akceptowalny poziom ryzyka. Należy więc podjąć odpowiednie działania w celu jego redukcji, na przykład zastosowanie bardziej skutecznej procedury związanej z oceną ekonomiczną realizowanej inwestycji albo z zabezpieczeniem konstrukcji przed skutkami wystąpienia osuwiska poprzez odpowiednie posadowienie i związane z tym koszty.

PODSUMOWANIE

Doświadczenia z 2010 r. utwierdzają w przekonaniu, że zagrożenia osuwiskowe i powodziowe są nieodłącznym elementem go-

spodarki przestrzennej i finansowej Polski południowo-wschodniej. Analiza obowiązujących źródeł prawnych pozwala stwierdzić, że skupiają się one przede wszystkim na obowiązku wyznaczania terenów zagrożonych, jednak za mało jest jeszcze uregulowań mówiących o sposobach działania w zakresie stwierdzonych już osuwisk. Problem pozyskiwania nowych terenów pod inwestycje i wyczerpanie możliwości zagospodarowania przestrzennego obecnych terenów, pozwala zrozumieć, że nie sposób zupełnie wykluczyć zabudowy na obszarach osuwiskowych. Tereny cenne turystycznie i gospodarczo zawsze będą podlegały presji zabudowy. Bardzo ważne jest więc oszacowanie ryzyka oraz właściwa kalkulacja ekonomiczna.

Inną grupę problemów stanowi brak szczegółowych i jasnych uregulowań dotyczących obowiązku wykonywania badań terenowych oraz dokładnego określenia ich zakresu w odniesieniu do terenów, na których planuje się inwestycję. Brak też jasnych wytycznych na temat sposobu dopuszczania terenów zagrożonych osuwaniem się mas ziemnych do zabudowy. Obecnie zaopiniowanie projektu inwestycji polega jedynie na stwierdzeniu, iż Starostwo nie posiada informacji o zagrożeniu osuwiskami. Należy podkreślić, że nawet projekt SOPO opiera się na badaniu zjawisk już występujących. W dalszym ciągu brak w naszym kraju stałego monitoringu terenów i budowli, nawet tych o znaczeniu strategicznym, ponadregionalnym, nie wspominając już o osiedlach mieszkaniowych.

Inaczej jest z terenami powodziowymi, dla których w terminie 18 miesięcy od dnia przekazania map zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka powodziowego właściwym wójtom, burmistrzom, prezydentom miast należy uwzględnić granice obszarów w nich wyznaczonych, wprowadzając zmiany do:

- miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego,
- decyzji o ustaleniu lokalizacji inwestycji celu publicznego,
- decyzji o warunkach zabudowy.

Poprzez właściwą politykę przestrzenną na obszarach osuwiskowych i zalewowych można pogodzić interesy wszystkich zainteresowanych stron, tj. mieszkańców takich terenów, gminy, na której obszarze są takie tereny oraz szeroko rozumianego środowiska naturalnego. Plan zagospodarowania przestrzennego musi być realizowany bardzo ostrożnie, zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Jest to bardzo istotne, gdyż błędna polityka może mieć szerokie i długotrwałe negatywne następstwa, dlatego bardzo ważnym zagadnieniem jest określanie ryzyka.

Zalecenia normowe związane z ilościową analizą i oceną ryzyka są dość ogólnikowe i budzą liczne wątpliwości związane przede wszystkim z interpretacją i kwantyfikacją czynników ryzyka, czyli prawdopodobieństw wystąpienia zagrożeń, ich lokalnych i globalnych efektów oraz konsekwencji. Najbardziej optymalnym kryterium projektowania i wymiarowania oraz oceny stanu konstrukcji na terenach osuwiskowych, umożliwiającym uwzględnienie ilościowych i jakościowych wymagań jest kryterium minimum ryzyka. Miara ryzyka jest to iloczyn prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń, które mogą spowodować przekroczenie określonego stanu konstrukcji. Oszacowane ryzyko charakteryzuje nie tylko stan konstrukcji, ale również różnorodne konsekwencje zagrożeń. Ocena ryzyka w projektowaniu konstrukcji wiąże się z ustaleniem klasy niezawodności konstrukcji (dopuszczalnego prawdopodobieństwa zniszczenia), liczby potencjalnych ofiar oraz konsekwencji finansowych, społecznych, ekologicznych i innych. szczególnie trudnym zagadnieniem jest ocena skutków katastrofy konstrukcji. Próby ich wyceny w jednostkach monetarnych budzą wiele zastrzeżeń, jest to związane z przyjętą skalą odniesienia, dla indywidualnej osoby, gminy czy powiatu czy regionu, skutki te będą bardziej lub mniej odczuwalne.

BIBLIOGRAFIA

1. Lan H.X., Martin C.D., Froese C.R., Kim T.H., Morgan A.J., Chao D., Chowdhury S., A web-based GIS for managing and assessing landslide data for the town of Peace River, Canada. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 2009, 1433-1443.
2. Rymasza B., O zasadach postępowania z obiektami mostowymi na terenach szkód powodziowych, *Zeszyty Naukowe WSOL*, Nr 3(157), 2010, 296-303.
3. Grabowski D., Inwentaryzacja osuwisk oraz zasady i kryteria wyznaczania obszarów predysponowanych do występowania i rozwoju ruchów masowych w Polsce Pozakarpackiej (skrypt dla wykonawców), PIG, Warszawa 2006.
4. Wójcik A., Kartografia geologiczna osuwisk, Materiały konferencyjne "Obowiązki geologa powiatowego w ?świetle ustawy Prawo Ochrony Środowiska oraz ustawy o planowaniu przestrzennym dotyczących terenów zagrożonych osuwiskami" (2008). [online] [dostęp: 02.02.2013]. Dostępny w Internecie: http://geoportal.pgi.gov.pl/css/powiaty/prezentacje/sopo/sopo_kartografia.pdf
5. Bielski, S., Stateczność zboczy. [dostęp:01.02.2013]. Dostępny w Internecie: <http://www.mikropal.pl/statecznosc-zboczy.html>.
6. Ustawa z dnia 5 stycznia 2011 r. o zmianie ustawy - Prawo wodne oraz niektórych innych ustaw, art. 88.
7. Halama A., Polityka przestrzenna na terenach zalewowych w małych miastach, [w:] *Studia Ekonomiczne*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 2013, s. 311-322.
8. Niedziółka P., Zarządzanie ryzykiem stopy procentowej w banku, DIFIN, Warszawa 2002.
9. Bernstein P.L., Risk as History of Ideas, *Financial Analysis Journal*, nr 1, 1995.
10. Nowak A.S., Analiza ryzyka i ocena niezawodności konstrukcji w praktyce budowlanej, *Awarie 2007*, KNT Międzyzdroje, 2007, s. 123-130.
11. Pawlikowski J., Różnicowanie klas niezawodności konstrukcji z betonu, *Prace naukowe ITB, WITB*, Warszawa 2003.
12. Nahotko S., Ryzyko ekonomiczne działalności gospodarczej, *Oficyna Wydawnicza Postępu Organizacyjnego*, Bydgoszcz 1996.
13. Slimak L., *Krizory manazment vo verejnej sprave*, Zilinska Univerzita, Zilina 2001.
14. JCSS Probabilistic Model Code Part 3: Resistance Models, 10.10.2000.
15. Woliński Sz., Ryzyko w projektowaniu konstrukcji z betonu, [w:] *Zeszyty Politechniki Gdańskiej*, nr 602, z. 59, (2000), s. 55-61
16. PN-EN 1990: 2004. Podstawy projektowania konstrukcji.
17. PN-EN 1991-1-7:2008 Oddziaływania na konstrukcje -- Część 1-7: Oddziaływania ogólne -- Oddziaływania wyjątkowe

HAZARDS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE ENGINEERING FOR THE LANDSLIDE ZONES AND FLOODPLAINS

Abstract

Both landslides and floods are natural hazards posing a threat to the environment and bring significant economic losses. There are flooding and landslide risks in the municipalities of south-eastern Poland. These two threats often go hand in hand. Currently, long-lasting rains cause flooding of buildings located near water courses, as well as initialize process of landslides on the slopes above the river valley. Knowledge of the hydrogeological conditions and monitoring of geotechnical and hydrological parameters of the area is the base for the prognosis, as well as the risk assessment associated with them. Hence, the paper highlights the issue of the consistency of monitoring and warning systems for these two threats.

Currently, only for landslides work SOPO - System Guards Against Landslides. On the other hand, hydrogeological bases are defined for floodplains as ISOK (The Computer System of the National Guard). However, notable is the lack of integrity of both systems. In this paper a proposal is made to determine the overall risk for both threats (Cartesian product and Bayesian method), as well as methods of analysis. The question of the relationship between the amount of information and risk assessment will be discussed. Because only properly specified risk allows you to take appropriate action to prevent and reduce the costs of the potential effects of natural hazards, as in this case of flooding and landslides.

Autorzy:

dr hab. inż. Izabela Skrzypczak – Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, izas@prz.edu.pl

inż. Wanda Kokoszka – Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, wandak@prz.edu.pl

mgr inż. Rafał Rojowski – Politechnika Rzeszowska, rparat@prz.edu.pl

dr inż. Janusz Kogut – Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Ładowej, jkogut@pk.edu.pl