

IDENTYFIKACJA ZAGROŻEŃ WYWOŁANYCH RUCHAMI MASOWYMI W PRZESTRZENI ZURBANIZOWANEJ NA PRZYKŁADZIE MAP OSUWISK GDAŃSKA I GDYNI

IDENTIFICATION OF THE RISKS POSED BY MASS MOVEMENTS IN THE URBANIZED AREAS OF GDANSK AND GDYNIA

Leszek Jurys, Grzegorz Uścińowicz, Anna Małka, Tomasz Szarafin, Leszek Zaleszkiewicz, Urszula Pączek, Jerzy Frydel, Piotr Przedziecki - Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Geologii Morza, Gdańsk
Jadwiga Kawęcka - Urząd Miejski w Gdańsku, Wydział Środowiska, Referat Gospodarki Wodnej i Geologii, Gdańsk

Celem artykułu było przedstawienie zasadniczych problemów kartograficznych przy rozpoznawaniu i dokumentowaniu osuwisk oraz terenów potencjalnie zagrożonych ruchami masowymi w obszarach miejskich Gdańska i Gdyni. Określenie lokalizacji i stopnia aktywności osuwisk oraz zagrożeń związanych z ich ponownym uruchomieniem wspomogłoby władze lokalne we właściwym zagospodarowaniu przestrzeni oraz wypełnieniu obowiązków dotyczących problematyki ruchów masowych wynikających z odpowiednich ustaw i rozporządzeń. Rozpoznanie lokalizacji i zasięgu osuwisk jest pomocne w tworzeniu planów odnoszących się do ryzyka osuwiskowego, czyli w ograniczeniu w znacznym stopniu szkód i zniszczeń wywołanych rozwojem osuwisk oraz zaniechaniu lub dostosowaniu budownictwa drogowego i mieszkaniowego w warunkach panujących w obrębie osuwisk.

Słowa kluczowe: osuwisko, teren zagrożony, Gdańsk, Gdynia

The aim of this article is to depict the fundamental cartographic difficulties towards appropriate recognition and evidence of landslides and areas potentially at risk of mass wasting, within urban zones of Gdańsk and Gdynia. Designation of landslide location, activity, and assessing a threat of landslide reactivation, is going to support the local authorities spatial planning accuracy – an obligation resulting from the adequate laws and regulations. A proper recognition of landslide location and coverage helps to apply suitable arrangements, aiming to reduce the damage caused by landslide development, as well as omission, or adaptation of road construction and housing, within areas being at risk of mass wasting and landslide activity.

Key words: landslide, area at risk of mass movements, Gdansk, Gdynia

Rozpoznanie zagrożeń wynikających z występowania osuwisk ma znaczenie ogólnokrajowe. Osuwiska powodują znaczne uszkodzenia, a nawet zniszczenia budynków oraz infrastruktury komunalnej. Ich rozpoznanie jest również ważne dla wyznaczania stref zagrożonych ruchami masowymi. Jest to szczególnie istotne na terenach zurbanizowanych ze względu na możliwy zakres zniszczeń oraz skomplikowane oddziaływanie antropogeniczne inicjujące bezpośrednio lub pośrednio powstanie osuwisk, bądź ich aktywizację.

Zagrożenie to jest potęgowane przez brak świadomości możliwości powstania tego typu zjawisk. Dotyczy to zwłaszcza mieszkańców, planistów oraz innych służb miast, szczególnie położonych poza obszarem Karpat. Sytuacja taka ma miejsce w Gdańsku i Gdyni, gdzie jedyne zagrożenie osuwiskowe z jakim się dotychczas liczą było związane z abrazją brzegów klifo-

wych. Przez setki lat miejska zabudowa Gdańska lokalizowana była na płaskich terenach nadmorskich i rzadziej dnach dolin rozcinających krawędź wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego. Pierwotna zabudowa miejska Gdyni także lokalizowana była głównie na płaskich powierzchniach wysoczyzn Pobrzeża i dnach pradolin. W ostatnich kilkudziesięciu latach w obydwu miastach zabudową objęto również w miarę płaskie fragmenty powierzchni wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego. Była to zabudowa mieszkaniowa w postaci dużych bloków mieszkalnych. Na krawędziach wysoczyzn i zboczach rozcinających je dolin z konieczności lokalizowano infrastrukturę liniową (drogi, wodociągi, kanalizację itp.). Ostatnio zabudową mieszkaniową objęto również stoki wysoczyzn i zbocza dolin. Było to możliwe ze względu na budowę domów jednorodzinnych i niewielkich domów wielorodzinnych. Zabudowie tej towarzyszyła coraz

bardziej rozwinięta infrastruktura. W konsekwencji coraz częściej występowały zagrożenia ruchami osuwiskowymi wynikającymi z nieuwzględnienia naturalnych cech stoków, w tym występowania starych, nieaktywnych osuwisk. Opinie geotechniczne, rzadziej dokumentacje geologiczno-inżynierskie sporządzane w związku z zabudową koncentrowały się zwykle tylko na bezpieczeństwie posadowienia budowli. Nie obejmowały wpływu zabudowy, zwłaszcza infrastruktury odwodnieniowej na stabilność stoków. O tym, że jest to zagadnienie ważne, które koniecznie należy rozpatrywać świadczy pojawienie się ruchów masowych ziemi w Gdańsku na stokach Biskupiej Górki. Stok ten zabudowano na przełomie XIX i XX wieku. Niestety brak ogólnej koncepcji zabudowy tego rejonu oraz dokumentacji infrastruktury podziemnej, w tym kanalizacyjnej sprawił, że w ostatnich kilkunastu latach zaczęły nasilać się przypadki osuwania się gruntu.

Problemy związane z zabezpieczeniem obiektów budowlanych zagrożonych w wyniku naruszenia stateczności skarp/zboczy znane były władzom miasta Gdańsk już w latach 70. ubiegłego wieku. Jednocześnie brak odpowiednich przepisów prawnych uniemożliwił organom administracji architektoniczno – budowlanej żądanie (podczas wydawania pozwoleń na budowę) oceny/obliczeń stateczności zboczy w związku z projektowaną zabudową. W lipcu 2001 r. po nawalnym krótkotrwałym deszczu stwierdzono ponad 40 przypadków naruszenia stateczności skarp i zboczy na terenie miasta. Koszt naprawy zniszczeń oszacowano na kwotę ok. 3,7 mln zł.

Po roku 2001 podczas licznych debat w Urzędzie Miejskim w Gdańsku, w tym również z udziałem przedstawicieli uczelni gdańskich, geologa wojewódzkiego oraz służb zajmujących się planowaniem przestrzennym, uznano za konieczne identyfikację terenów zagrożonych osuwiskami już na etapie sporządzania miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego.

Cel pracy

Rosnąca ilość problemów stwarzanych przez osuwiska w połączeniu z nałożonym na starostów i prezydentów miast – powiatów prawnym obowiązkiem rozpoznania zjawiska zagrożeń ruchami masowymi ziemi sprawiły, że prezydenci Gdańska i

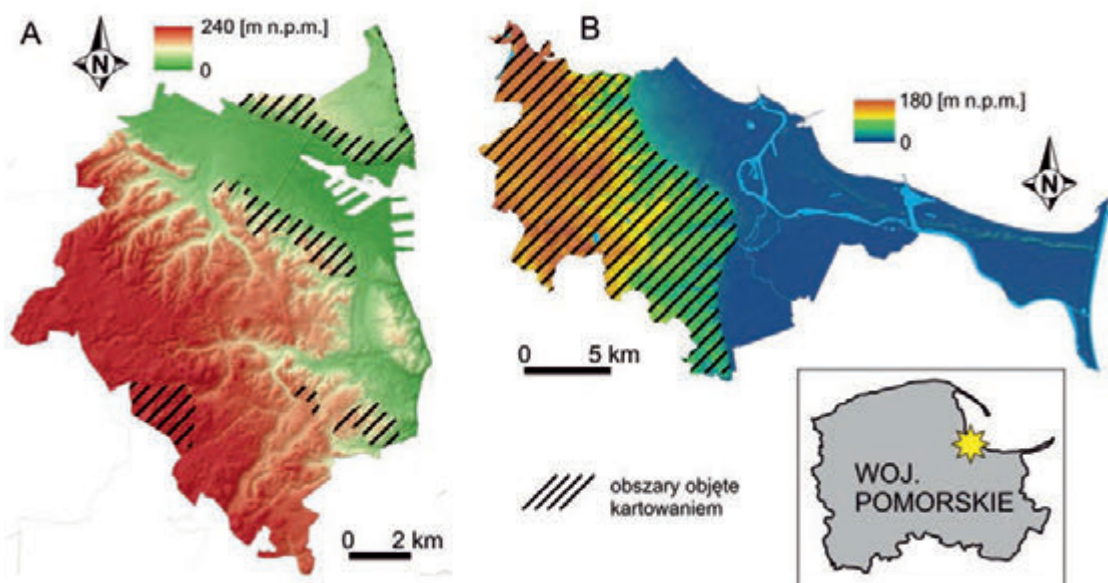
Gdyni zlecieli Oddziałowi Geologii Morza PIG-PIB wykonanie stosownych map osuwisk oraz terenów potencjalnie zagrożonych ruchami masowymi. Umożliwia to właściwe planowanie zagospodarowania przestrzeni miejskiej oraz zobowiązanie inwestorów do przeprowadzenia badań geotechnicznych i geologiczno-inżynierskich uwzględniających zagrożenie osuwiskowe, a także uściślenie odpowiedzialności w przypadku zniszczeń spowodowanych przez osuwiska. Dlatego też celem artykułu jest przedstawienie zasadniczych problemów kartograficznych przy rozpoznawaniu i dokumentowaniu osuwisk oraz terenów potencjalnie zagrożonych ruchami masowymi w obszarach miejskich Gdańska i Gdyni. Są to jedne z pierwszych obszarów kartowania osuwisk poza Karpatami, w dodatku są to obszary zurbanizowane.

Material i metody

Poznanie znaczenia budowy geologicznej dla występowania osuwisk w Gdańsku i Gdyni wymaga wstępnego przedstawienia ukształtowania powierzchni terenu. Obydwa miasta położone są w granicach sześciu jednostek fizyczno – geograficznych według podziału J. Kondrackiego (2002). Wschodnia część miasta Gdańsk (m.in. część dzielnicy Orunia – Św. Wojciech – Lipce oraz Śródmieście, Rudniki, Olszynka) znajduje się w obrębie *Żuław Wiślanych*, które są nisko położoną równiną akumulacyjną delty Wisły. Północna i północno-wschodnia część miasta (dzielnice: Nowy Port, Letnica, Stogi z Przeróbką, Krakowiec – Górki Zachodnie i Wyspa Sobieszewska) należą do *Mierzei Wiślanej*. Stosunkowo mniejsza część Gdańska w rejonie północno-zachodnim oraz główna część Gdyni położone są w obrębie *Pobrzeża Kaszubskiego*. W Gdańsku jest to część tzw. Tarasu Sopotko – Wrzeszczańskiego, obejmującego m.in. dzielnice: Żabianka, Jelitkowo, Przymorze, Zaspą oraz niżej położone (wschodnie) części dzielnic: Oliwa i Wrzeszcz, a w Gdyni Kępy Oksywska i Redłowska o płaskiej powierzchni szczytowej i stromych stokach, od strony morza o charakterze klifowym.

Centralna część Gdyni zajmuje fragment Pradoliny Kaszubskiej o płaskim torfiasto piaszczystym dnie (rys. 1).

Natomiast zachodnie części Gdańska i Gdyni położone są



Rys 1. Lokalizacja obszaru prac na tle numerycznego modelu terenu (A – miasto Gdynia; B – miasto Gdańsk)

Fig. 1 The location of the studies on the background of a Digital Terrain Model (A - city of Gdynia, B - City of Gdańsk)

w granicach najbardziej zróżnicowanej morfogenetycznie jednostki, peryferyjnej części *Pojezierza Kaszubskiego*. To właśnie ten obszar wraz ze stokami wysoczyzn Pobrzeża w Gdyni został poddany badaniom w ramach kartowania osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi. Pojezierze Kaszubskie to zróżnicowana morfologicznie wysoczyzna polodowcowa, opadająca w kierunku Zatoki Gdańskiej i Żuław stromymi stokami, których łączna wysokość miejscami dochodzi do 100 m. U schyłku plejstocenu i w starszym holocenie stoki wysoczyzny uległy silnemu erozyjnemu rozcięciu, czego wynikiem było powstanie szeregu dolin rzecznych, o przebiegu zbliżonym do równoleżnikowego. Doliny te posiadają liczne dolinki boczne, tworzące złożony system rozcięć w stokach wysoczyzny. Największe z dolin mają prawdopodobnie założenia rynnowe, podobnie jak głębokie doliny na wysoczyźnie.

Generalnie deniwelacje terenu w obrębie Gdańska i Gdyni przekraczają 200 m. Najwyższe wzniesienie to Góra Donas (na terenie Gdyni) o wysokości 205,7 m n.p.m. Deniwelacje w obrębie jednego stoku (lokalne) są znacznie mniejsze, ale i one w kilku miejscach przekraczają 50 m. Deniwelacje lokalne rzędu 30 – 40 m występują powszechnie. Wiąże się to z obecnością stoków o dużym nachyleniu, maksymalnie nieco powyżej 30 stopni. Najbardziej predysponowane do rozwoju osuwisk i ruchów masowych ziemi są górne krawędzie wysoczyzn w tym klify oraz zbocza rynien glacialnych.

Dla przedstawianej w niniejszym artykule problematyki osuwiskowej istotne jest omówienie budowy geologicznej w warstwie przypowierzchniowej, w której występują wyłącznie osady paleogenu, neogenu, plejstocenu i holocenu.

Na głębokości około 80 m p.p.m. występuje prawie poziomy strop osadów kredy górnej. Na nim również, prawie poziomo, leżą nierozdzielone morskie osady paleogenu eoceńsko-oligoceńskie. Są to piaski kwarcowo-glaukonitowe, w górnym poziomie czasami ze żwirem, przewarstwione ilami i mułkami piaszczystymi z łuszczkami z glaukonitem oraz konglomeratami fosforytowymi. Nad nimi występują jeziorne osady neogeńskie (mioceńskie), w postaci ilów, mułków, piasków kwarcowych z przewarstwieniami węgla brunatnego i żwirów. Osady te są powszechne w obszarze Trójmiasta. Najwyżej występują w obrębie stoków wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego i na Kępie Redłowskiej. W rejonie gdańskiej dzielnicy Piecki – Mígowo i w południowo-zachodniej części Gdyni ich strop sięga nieco ponad 70 m n.p.m. Osady te zalegają miejscami na głębokości zaledwie kilku metrów p.p.t., zwłaszcza w zboczach głębokich dolin rozcinających stoki wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego. Podobnie płytko występują osady miocenu na Kępie Oksywskiej, tworząc wychodnie w ścianach klifu. Na wschód od stoku wysoczyzny strop osadów miocenu obniża się gwałtownie do głębokości około 40 m p.p.m. Nieco mniejsze obniżenie do głębokości około 10 m n.p.m. stwierdzono także w kierunkach zachodnim i południowo-zachodnim, (Pikies & Zaleszkiewicz, 2003; Pikies & Zaleszkiewicz, 2013). Takie zmienne ukształtowanie i położenie stropu osadów miocenu może być spowodowane spiętrzeniem glaciektonicznym.

Osadów paleogenu i neogenu brak we wschodniej części miasta Gdańska, na obszarze Żuław, gdzie zostały zniszczone przez plejstoceńskie procesy erozji i egzaracji.

Utwory czwartorzędowe występują na całym obszarze Gdańska i Gdyni. Pokrywa tych osadów ma różną miąższość od kilku do kilkudziesięciu metrów, zazwyczaj od 20 do 40 m. Największą miąższość, około 145 m rozpoznano w rejonie

Złotej Karczmy w zachodniej części Gdańska (Pikies & Zaleszkiewicz 2013).

Osady plejstoceńskie cechuje duże zróżnicowanie litologiczne i genetyczne. Dominują jednak piaski i żwiry wodnolodowcowe oraz gliny zwałowe, w wielu miejscach zaburzone glaciektonicznie. Miejscami na wysoczyźnie Pojezierza Kaszubskiego i w jej stokach odsłaniają się piaski, mułki, ily kemów i zastoisk oraz porwaki osadów neogenu i starszego plejstocenu. W stokach wysoczyzn wszystkie te osady cechuje nieciągłość warstw spowodowana erozją i zaburzeniami glaciektonicznymi. W wielu miejscach trudno nawet mówić o warstwach ponieważ akumulacja w specyficznych warunkach deglacjacji lądolodów na kontakcie z progiem morfologicznym miała charakter gniazdowy. Próg morfologiczny (opisywany dzisiaj jako krawędź wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego) z pewnością istniał już w okresie zlodowaceń środkowopolskich, o czym świadczy obecność osadów morza eemskiego na wschód od wysoczyzny w Dolinie Dolnej Wisły na wysokości poniżej poziomu morza. Każde kolejne zbliżenie się lądolodu do progu morfologicznego stwarzało sytuację dogodną do akumulacji osadów zastoiskowych, a następnie do powstawania zaburzeń glaciektonicznych. Podczas deglacjacji w miejscach tych akumulowane były także piaski i mułki kemów, glaciektonicznie zaburzane przez lądolody młodsze. Przy tak skomplikowanej budowie geologicznej trudno o ścisłą ocenę wieku osadów plejstoceńskich. Te leżące najpłycej pochodzą ze zlodowacenia Wisły. Wiek osadów zachowanych na większych głębokościach jest ciągle przedmiotem badań.

Osady holocenne na obszarze Gdańska i Gdyni występują w różnych facjach. Wypełniają one obniżenia terenu, w tym największe jakim jest tzw. taras nadmorski i Pradolina Kaszubska. Są to osady: rzeczne, jeziorne, morskie, eoliczne, deluwialne i organiczne. Piaski i żwiry rzeczne, miejscami humusowe występują w dnach większych dolin rozcinających wysoczyznę. Piaski i żwiry stożków napływowych występują u podnóża dolnych krawędzi wysoczyznowych. Piaski i gliny deluwialne są nagromadzone w górnych częściach dolin rozcinających stoki wysoczyzny (Mojski, 1979a, b).

Niezwykle ważnym czynnikiem wpływającym na możliwość powstawania osuwisk jest występowanie i dynamika wód gruntowych. Generalnie wszystkie głębsze rozcięcia erozyjne w stokach wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego są miejscem drenażu tych wód, wypływających na powierzchnię terenu na różnych wysokościach i z różną intensywnością. W rejon ten przyplływają wody gruntowe z dużej części Pojezierza czego dowodem są liczne strumienie płynące dnem dolin rozcinających stoki oraz zasobność ujęć wody, zarówno na wysoczyźnie jak i u jej podnóża.

Przeplwy wód w przestrzeni gruntu są bardzo zmienne, co wynika z niezwykle skomplikowanej budowy geologicznej (na którą składa się obecność utworów nieprzepuszczalnych i słabo przepuszczalnych) oraz ze zróżnicowanych warunków meteorologicznych w ciągu roku hydrologicznego.

Nieco inna sytuacja jest w stokach wysoczyzn pobrzeża, Kępy Oksywskiej i Redłowskiej. Wód gruntowych jest tu znacznie mniej, ponieważ obszar zasilania ogranicza się do powierzchni kępy.

Zdecydowana większość osuwisk występuje w osadach plejstoceńskich, szczególnie w mułkach, ilach i piaskach kemów oraz utworach zastoiskowych. Jedyńm miejscem, gdzie stwierdzono obecność ruchów masowych w osadach neogenu

są gdyńskie klify.

Kartowanie osuwisk w Polsce jest obecnie prowadzone według jednolitej metodyki badań wypracowanej w I etapie realizacji projektu System Osłony Przeciwosuwiskowej (SOPO) i szczegółowo opisanej w „Instrukcji opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10 000” (Grabowski i in. 2008).

Kartowanie osuwisk oraz terenów zagrożonych ruchami masowymi wykonano w Gdańsku i Gdyni w latach 2011-2012. W Gdańsku prace kartograficzne przeprowadzono na całym obszarze potencjalnego występowania ruchów masowych ziemi, czyli na wysoczyźnie Pojezierza Kaszubskiego wraz z jej stokami o powierzchni 125 km², w tym także na obszarach leśnych.

W Gdyni prace kartograficzne przeprowadzono tylko w wybranych, sześciu rejonach o łącznej powierzchni około 17 km² przewidzianych do zagospodarowania w najbliższych latach oraz tam gdzie osuwiska stwarzały najczęściej problemów. Z kartowania wyłączono zwarte kompleksy leśne. W czterech rejonach podstawowych (Krawędź Kępy Oksywskiej, Mały Kack – Karwiny, Grabówek – Działki Leśne i Leszczyńki) prace kartograficzne wykonywano w pełnym zakresie, a w dwóch pozostałych (Dąbrowa i Kolibki) tylko na mapach w skali 1:10 000 i bez sporządzania kart rejestracyjnych osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi.

Podstawę kartograficzną mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi dla Gdańska i Gdyni stanowiły numeryczne mapy zasadnicze w skali 1:1000 w układzie PL-2000, a w przypadku Gdańska dodatkowo w układzie lokalnym Gdańsk 70 oraz mapy topograficzne w skali 1:10 000 w układzie PL-1992.

Realizacja kolejnych etapów opracowania mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi dla obu miast przebiegała podobnie. W początkowym etapie przeprowadzono prace kameralne, obejmujące analizę dostępnych archiwalnych dokumentacji i opracowań dotyczących inwentaryzacji osuwisk na omawianych obszarach. W szczególności wykorzystano do tego celu wyniki inwentaryzacji osuwisk z lat 1968-1970, wykonanej w Państwowym Instytucie Geologicznym na mapach powiatowych w skali 1:100 000 oraz wyniki rejestracji osuwisk i bazę danych o geozagrożeniach wykonaną w latach 2003-2004 przez Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie.

W ramach prac kameralnych wytypowano obszary potencjalnego występowania osuwisk. W tym celu przeprowadzono analizę rysunku poziomicowego oraz istotnych danych hydrograficznych (podmokłości, wypływy wód podziemnych) na mapach topograficznych w skali 1:10 000. Dodatkowo, wykorzystano wygenerowaną z numerycznego modelu terenu warstwę tematyczną „Nachylenia stoków i zboczy” zamieszczoną w „Atlasie Geologiczno-Inżynierskim Trójmiasta” (Frankowski & Zachowicz, 2007).

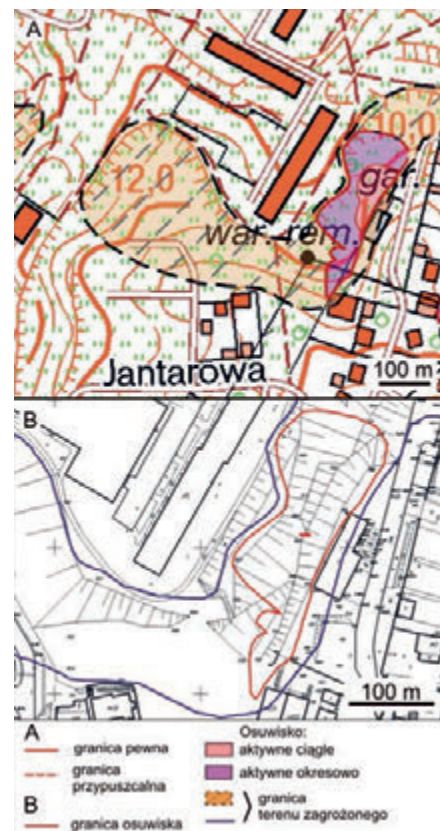
Prace terenowe, obejmujące wykonanie zdjęcia geologicznego osuwisk, polegały na szczegółowym wyznaczeniu granic osuwisk, ze wskazaniem istotnych elementów rzeźby wewnątrzsuwiskowej, określeniem stopnia ich aktywności oraz pomiarze parametrów morfometrycznych osuwisk i sporządzaniu kart rejestracyjnych osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi.

Jednym z głównych problemów kartowania osuwisk na obszarze zurbanizowanym okazała się nieaktualność podkładów topograficznych. W trakcie przeprowadzania rejestru dyspono-

wano mapami, które powstały na przełomie XX i XXI wieku, co oznacza, że ukazują stan powierzchni terenu przynajmniej sprzed około dziesięciu lat. W obszarze zurbanizowanym taki okres czasu jest wystarczający do wystąpienia istotnych zmian w zagospodarowaniu i ukształtowaniu powierzchni terenu, szczególnie w wyniku powstawania nowych osiedli mieszkaniowych i arterii komunikacyjnych. Przykładowo, na mapach topograficznych nie znalazły się tak istotne obiekty jak budowana w latach 2009-2012 Południowa obwodnica Gdańska i Trasa im. Eugeniusza Kwiatkowskiego w Gdyni.

Zdecydowanie lepiej przedstawiała się aktualność danych na podkładach geodezyjnych w skali 1:1000 (mapach podstawowych). Były one dokładniejsze i bardziej aktualne. Ponadto właśnie te mapy są podstawą decyzji planistycznych i budowlanych.

W trakcie prac terenowych i kameralnych zaobserwowano także pewne różnice w treści map zasadniczych i topograficznych, wynikające z różnej metodyki ich tworzenia. Mapy topograficzne w skali 1:10 000 powstały głównie na bazie pomiarów fotogrametrycznych, natomiast mapy w skali 1:1000 w dużym stopniu na bazie konwencjonalnych pomiarów geodezyjnych. W rezultacie rysunek poziomicowy ukształtowania powierzchni terenu i układ skarp na obu mapach był w wielu miejscach istotnie różny. Kolejnym, częstym problemem był brak rysunku poziomicowego na mapach w skali 1:1000, w obrębie niektórych osuwisk, wynikający prawdopodobnie ze skłonności przedstawienia ukształtowania powierzchni terenu w sposób uproszczony w postaci skarpy (rys. 2). Jedynym



Rys. 2. Figura ilustrująca problem związany z nanoszeniem rzeczywistych granic osuwiska na rysunek poziomicowy w różnej skali. A – mapa w skali 1:10 000; B – mapa zasadnicza (dane Urzędu Miejskiego w Gdyni)

Fig. 2. Figure illustrating the problem of determining actual landslides limits on the maps at the different scales. A - map in a scale of 1:10 000, B - basic map (based on the Municipal Office in Gdynia)

rozwiązaniem tego problemu było dokładne okonturowanie i namierzenie granic osuwiska przy użyciu odbiornika GPS. Ustalenie granic pewnych było trudne ze względu na słaby stopień ich zachowania i czytelność w warunkach miejskiej zabudowy. W przypadkach niektórych osuwisk aktywnych i okresowo aktywnych, dokładnie określono jedynie zasięg skarpy głównej, która zwykle była lepiej zachowana niż granice boczne i czoło osuwisk. Jedynie w przypadku świeżo powstałych form, granice osuwisk wyznaczono w sposób pewny.

Dane uzyskane podczas opracowywania map osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi wprowadzono do bazy danych Systemu Osłony Przeciwoświsowej (SOPO), wchodzącej w skład Centralnej Bazy Danych Geologicznych Państwowego Instytutu Geologicznego – PIB (Grabowski i in. 2008). Na potrzeby służb planistycznych obydwu miast z desktopowej wersji bazy SOPO wyeksportowano dane do plików w programie MS Excel, a następnie do pojedynczego pliku *.dbf (oddzielnie dla terenów zagrożonych i dla osuwisk). Tak przygotowaną bazę można w łatwy sposób przeglądać i edytować w dowolnym pakiecie oprogramowania bazodanowego z pakietów biurowych. Przygotowany plik danych może też zostać bezpośrednio użyty w systemach GIS do analizowania i przetwarzania danych przestrzennych.

Wyniki badań

W porównaniu do fliszowych terenów Karpat rejon miasta Gdańska i Gdyni charakteryzują się niskimi wskaźnikami osuwiskowości i niewielkimi zagrożeniami ruchami masowymi, zwłaszcza w dużej skali. W Gdańsku wskaźnik ten wynosi 0,3 osuwiska na 1 km², w Gdyni będzie przypuszczalnie nieco wyższy (na razie nie można go obliczyć ponieważ kartowaniem objęto zaledwie 17% obszaru miasta).

Przedstawione porównanie wyników kartowania osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi w obydwu nadmorskich miastach z obszarem Karpat wymaga uzupełniających uwag. Ze względu na niewielkie na ogół rozmiary i stosunkowo niewielką głębokość powierzchni odkłucia, osuwiska w Gdańsku i Gdyni szybko ulegają procesom denudacyjnym i przestają być widoczne. Można wręcz przypuszczać, że część osuwisk nieaktywnych jest obecnie nie do rozpoznania. Należy zatem uznać, że wskaźniki osuwiskowości dla tych miast są zaniżone.

Osuwiska i tereny zagrożone ruchami masowymi ziemi w Gdańsku

Na terenie Gdańska zlokalizowano 96 osuwisk i 169 terenów zagrożonych ruchami masowymi. Osuwiska zajmują około 0,12%, a tereny zagrożone ruchami masowymi około 1,46% powierzchni miasta (co daje odpowiednio 0,32 osuwiska na 1 km² i 3,82 terenu zagrożonego na 1 km²). Do czasu przeprowadzenia prac terenowych w latach 2011-2012 znanych było około 18 osuwisk wymienionych w Katalogu osuwisk (Kuhn & Miłoszewska, 1971) oraz w opracowaniu Leśniaka i Czuj-Górniak (2004). Ich obecność została potwierdzona podczas opisywanych prac kartograficznych (Jurys i in. 2011a). W pojedynczych przypadkach wyznaczone wcześniej osuwiska są obecnie nieczytelne w terenie.

Długości i szerokości osuwisk w Gdańsku są bardzo różnicowane, od kilku do ponad 300 metrów. Są to osuwiska

niewielkie, których powierzchnia zwykle nie przekracza 2 ha, najczęściej mieszczące się w przedziale 0,05 – 0,5 ha.

Osuwiska występują przede wszystkim na stokach o średnim nachyleniu od 6 do 20° i ekspozycji północnej, w mniejszym stopniu wschodniej i południowej. Przeważają płytkie osuwiska gruntowe, jedynie pojedyncze zostały opisane jako „mieszane”, gdyż rozwinęły się na różnych rodzajach podłoża, obejmujących m.in. nasypy budowlane. Dominującym typem ruchu w osuwiskach jest zsuw, w kilkunastu przypadkach opisano ruch złożony oraz spływanie lub spływanie.

Większość osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi jest zlokalizowana w obszarach niezabudowanych, zalesionych lub niezagospodarowanych, co świadczy o naturalnych czynnikach ich występowania. Około 1/3 osuwisk stwarza zagrożenie dla zabudowy i infrastruktury komunikacyjnej lub przesyłowej. Jedynie pojedyncze osuwiska powodują większe szkody: spękania budynków czy zniszczenie drogi dojazdowej. Najwięcej osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi zlokalizowano w strefie krawędziowej wysoczyzny morenowej Pojezierza Kaszubskiego w południowej części Gdańska, w dzielnicach: Orunia, Św. Wojciech, Lipce i Chełm oraz na obszarze kompleksu leśnego Lasów Oliwskich na terenach dzielnic: Oliwa, VII Dwór, Brętowo, Jasień, Osowa. Występują tu znaczne deniwelacje terenu, przekraczające miejscami 50 m, nachylenie stoków dochodzące do 30° oraz budowa geologiczna warunkująca powstawanie osuwisk. Pozostałe osuwiska i tereny zagrożone ruchami masowymi występują na wysoczyźnie w stokach rynien glacialnych i dolin rzecznych. Trzy osuwiska, które już spowodowały szkody i stwarzają największe zagrożenie wytypowano do monitoringu instrumentalnego.

Geologiczne warunki występowania osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w Gdańsku są w większości przypadków trudne do jednoznacznego opisanego pomimo dużej ilości danych źródłowych, w tym wierceń zawartych w Atlasie geologiczno-inżynierskim aglomeracji Trójmiejskiej (Frankowski & Zachowicz 2007). Wynikającą z tych danych cechą budowy geologicznej jest olbrzymie zróżnicowanie litologiczne osadów, z czym wiąże się częste współwystępowanie osadów niespoistych i spoistych. Niewątpliwie w rejonach występowania, w strefie przypowierzchniowej na większą skalę osadów spoistych liczba osuwisk jest większa oraz wzrasta możliwości powstania nowych. Przykładem jest stok wysoczyzny w południowej części miasta np. rejonie Oruni Górnej, gdzie występują naprzemianległe gliny lodowcowe, piaski drobno- i gruboziarniste oraz mułki oraz w dzielnicy Kowale, gdzie występują mułki ilaste i piaski przewarstwione mułkami.

Osuwiska i tereny zagrożone ruchami masowymi ziemi w Gdyni

W sześciu rejonach stanowiących zaledwie 17% powierzchni miasta Gdynia stwierdzono występowanie 48 osuwisk i 37 terenów zagrożonych, z czego dla 35 osuwisk i 28 terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi sporządzono karty rejestracyjne (Jurys i in. 2011b). Przed badaniami przeprowadzonymi przez Oddział Geologii Morza PIG-PIB, w Gdyni znano 4 osuwiska, związane z abrazją morską klifu. Wskaźnik gęstości osuwisk obliczony na podstawie obecnych badań dla powierzchni całego miasta Gdynia przekracza 0,3 osuwiska na 1 km².

Ponieważ pracami terenowymi nie objęto całego powiatu

w rzeczywistości wskaźnik ten z pewnością osiągnie wyższą wartość. Lokalnie w kartowanych strefach krawędziowych wysoczyzn wskaźnik gęstości osuwisk wynosi 3,4 % (rys. 3).

Zarejestrowane w 2012 r. osuwiska zajmują około 0,27 % (0,37 km²), a tereny zagrożone 1,66 % (2,16 km²) powierzchni gminy.



Rys. 3. Widok osuwiska bezpośrednio zagrażającego zabudowie mieszkalnej (fot. J. Frydel)
Fig. 3. A view of the landslide directly threatening the residential quarters (photo J. Frydel)

Długości i szerokości osuwisk zarejestrowanych w Gdyni są bardzo zróżnicowane, wahają się od kilku do ponad 1000 metrów. Powierzchniowo są to przeważnie osuwiska niewielkie, najczęściej mieszczące się w przedziale 0,009 – 0,5 ha. W Gdyni zanotowano jednakże więcej niż w Gdańsku osuwisk dużych, aż 10 osuwisk ma powierzchnię powyżej 1ha, zajmując łącznie 28 ha co stanowi około 74% powierzchni wszystkich osuwisk zarejestrowanych. Są to osuwiska w Babich Dołach, Oksywiu, Pogórze i Leszczynkach. Osuwiska o powierzchni mniejszej niż 0,05 ha zaznaczano na mapie wówczas, gdy stwarzały realne zagrożenie dla budynków lub infrastruktury.

W Gdyni, podobnie jak w Gdańsku, osuwiska i tereny zagrożone ruchami masowymi ziemi najliczniej występują w strefie krawędziowej wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego, rzadziej na jej powierzchni. Nie brak ich także na stokach wysoczyzny Pobrzeża, Kępy Oksywskiej. Największe zagęszczenie osuwisk w trzech badanych rejonach (Leszczynkach, zachodniej części Kępy Oksywskiej i w Kolibkach) związane jest z występowaniem, w strefie przypowierzchniowej osadów spoistych i pylasto-piaszczystych.

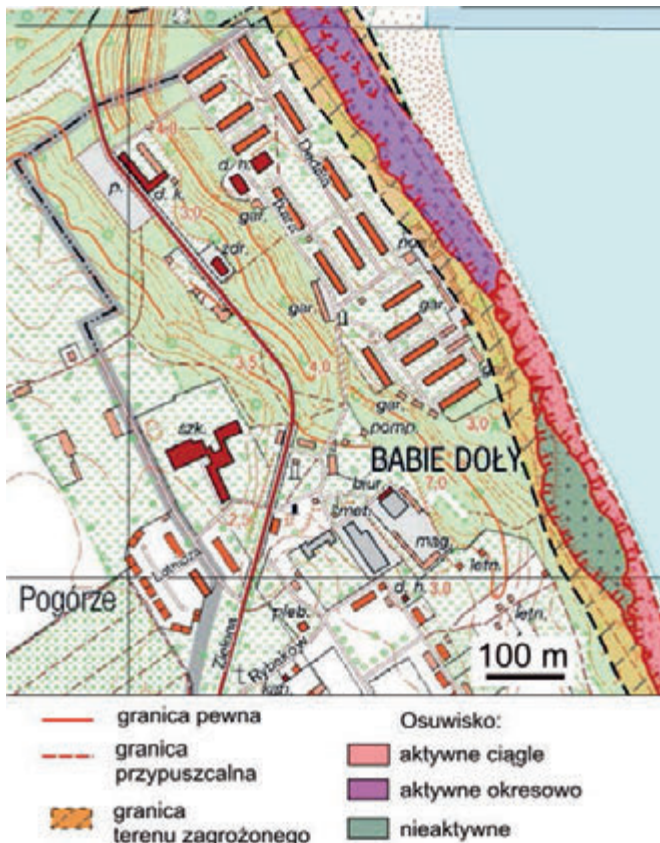
Ponad połowa (60%) osuwisk udokumentowanych w Gdyni powstała na stokach o nachyleniu 7° – 20°, około 28% osuwisk powstało na stokach o nachyleniu 20° – 25°. Osuwiska,

które powstały na stokach o większym nachyleniu niż 25° związane są z brzegami klifowymi Kępy Oksywskiej. Przeważają osuwiska gruntowe. Jedno osuwisko, w którym materiał koluwalny obejmował także grunty nasypowe zostało opisane jako „mieszane”. Dominującym typem ruchu w osuwiskach jest zsuw, w paru przypadkach opisano ruch złożony. Aż 19 osuwisk

stwarza poważne zagrożenie dla zabudowy i infrastruktury komunikacyjnej, a niektóre powodują zniszczenia obiektów budowlanych. W jednym przypadku, poważne zniszczenia spowodowane przez ruchy osuwiskowe doprowadziły do ewakuacji mieszkańców domu przy ul. przy ul. Dembińskiego 150.

Szczególnym miejscem występowania osuwisk są klifowe brzegi morza. Czynnikiem inicjującym ich powstanie jest abrazja, która systematycznie usuwa materiał koluwalny i eroduje podstawę klifu, wtórnie aktywizując osuwiska.

Osuwiska „klifowe”, ze względu na ciągłą abrazję charakteryzują się największą dynamiką. W rzeczywistości są to zespoły osuwisk, o różnych stopniach aktywności, o nakładających się na siebie niszach. Świadczy to o wielu generacjach ruchów masowych, aktywowanych zwykle przez ekstremalne zjawiska sztormowe. Szerokość osuwisk tworzących zespół waha się od kilku do kilkudziesięciu metrów. Największe osuwisko o powierzchni 8,4 ha znajduje się w północnej części klifu oksywskiego w rejonie Babich Dołów (rys. 4). W 2006 r. wykonano opaskę brzegową, zabudowę ciężką klifu w celu stabilizacji aktywnej części tego osuwiska stanowiącej zagrożenie dla osiedla bloków mieszkalnych (zlokalizowanych przy ulicach Dedala i Ikara). Środkowa, aktywna część opisywanego osuwiska o długości ok. 900 metrów podlega obecnie monito-



Rys. 4. Fragment Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi dla m. Gdyni ukazująca stopień zagrożeń na kontakcie morze-łąd w obszarze zurbanizowanym

Fig. 4. Fragment of the Map of landslides and areas at risk in the city of Gdynia, showing the level of hazards at a contact of sea and land in the urbanized area

ringowi przy zastosowaniu naziemnego skaningu laserowego. Monitoring wykonywany jest w ramach prac badawczych Oddziału Geologii Morza PIG-PIB.

Dyskusja

W porównaniu do fliszowego obszaru Karpat miasta Gdańsk i Gdynia charakteryzują się niskimi wskaźnikami osuwiskowości. W Gdyni pracami terenowymi nie objęto całego powiatu, dlatego wskaźnik ten nie ukazuje stanu faktycznego. Dotychczasowy zakres prac wykazał jednak, że osuwiska udokumentowane w Gdyni stanowią większe zagrożenie dla infrastruktury budowlanej niż osuwiska rozpoznane w Gdańsku.

Powstawanie osuwisk na obszarze Gdyni i Gdańska warunkują standardowe przyczyny geomorfologiczne, geologiczne, hydrogeologiczne i antropogeniczne. Znajduje to wyraz w występowaniu większej ilości osuwisk w miejscach gdzie stoki wysoczyzny budują osady ilaste i pylasto piaszczyste. W Gdańsku jest to rejon położony na południe od śródmieścia, a w Gdyni rejon dzielnicy Orłowo. Drugą naturalną przyczyną powstania osuwisk są wypływy wód gruntowych, zwłaszcza z piasków pylastych. Warunki takie występują w Gdyni w rejonie Orłowa i Leszczynek, a w Gdańsku nad Jeziorem Wysockim i we wspomnianych już południowych dzielnicach. Lokalnym czynnikiem naturalnym inicjującym powstawanie osuwisk w Gdyni jest abrazja klifów. Kartowanie osuwisk na klifie Kępy Oksywskiej wykazało, że największe osuwiska występują w osadach plejstoceńskich. W miejscach gdzie ściana klifu zbudowana jest z silnie zdiagenezowanych

piasków mioceńskich osuwiska praktycznie nie występują. Bardziej szczegółowe omówienie geologicznych warunków, indywidualnie dla każdego osuwiska, jest zwykle prawie niemożliwe. Budowa geologiczna stoków wysoczyzn jest znacznie bardziej skomplikowana niż przedstawiają to Szczegółowe mapy geologiczne w skali 1:50 000. Prawdopodobnie różnice te wynikają z metodyki opracowania tej mapy i jej mniejszej skali, narzucając stosowanie generalizacji wydzielen geologicznych. W rezultacie treść Szczegółowych map geologicznych w skali 1:50 000 okazała się mało kompatybilna z mapą osuwisk w skali 1:10 000 i prawie nieprzydatna dla sporządzenia map osuwisk w skali 1:1000.

W przeciwieństwie do Karpat znaczenie czynników przyrodniczych w powstaniu osuwisk, jeśli pominąć klify, ma tu charakter prawie wyłącznie potencjalny. Prawdopodobnie większość osuwisk powstała lub uległa odnowieniu wskutek działań człowieka. Niestety działania te trudno sklasyfikować pod względem znaczenia dla powstawania osuwisk. Z pewnością w skali lokalnej zawsze ważne są wszystkie działania związane z zabudową i modelowaniem stoków, wraz z budową skutecznej struktury odwodnieniowej. Szczególnie w Gdańsku znaczenia nabrał fakt zabudowy powierzchni wysoczyzny morenowej Pojezierza Kaszubskiego, z czym związane jest radykalne zwiększenie spływu powierzchniowych wód opadowych, przejawiające się występowaniem powodzi, ale również lokalnie zwiększonym nawadnianiem stoku wysoczyzny, nawet tak ryzykownym jak w przypadku kierowania wód opadowych z osiedla do pobliskiej niszy osuwiskowej. W rezultacie zwiększyło się zagrożenie ze strony nawalnych opadów deszczu. W Gdańsku takie opady odnotowano między innymi w 2001 roku. W tym czasie zanotowano uaktywnienie ruchów masowych, co potwierdzone zostało podczas wywiadu środowiskowego.

Najstarsza, położona na stoku wysoczyzny, zwarta zabudowa Gdańska - Biskupia Górka wskazuje na pewną rolę w uaktywnieniu osuwisk zaniedbanej, częściowo nieznannej infrastruktury wodno-kanalizacyjnej, zwłaszcza związanej z gospodarowaniem wodami opadowymi.

Wszędzie występującą potencjalną przyczyną powstawania osuwisk są roboty ziemne związane z budową budynków i miejskiej infrastruktury. Niekiedy wkopy bywają miejscem gromadzenia się wód opadowych i ich zwiększonej infiltracji do gruntu, w konsekwencji przyczyniając się do powstania osuwiska.

Zarówno w Gdyni jak i w Gdańsku nasilenie ruchów masowych związane jest z działalnością człowieka, dlatego szczególnego znaczenia nabrało wskazanie terenów zagrożonych ruchami masowymi. Morfologia osuwiska jest często nieczytelna, ale można je identyfikować np. po niewielkich skutkach. Dzięki temu, możliwe jest zapobieganie groźnej, niszczącej działalności osuwisk. Tereny zagrożone ruchami masowymi ziemi znacznie trudniej zidentyfikować. Stanowią one zagrożenie ukryte, w szczególności nieznane, które jednak należy uwzględnić podczas rozbudowy miast.

Osuwiska występujące w Trójmieście i okolicy są zwykle płytkimi osuwiskami gruntowymi, rozwiniętymi w skałach nieskonsolidowanych, wśród dominujących utworów drobnoziarnistych oraz asekwentnymi, powstałymi ze ścięcia w jednorodnych i niezaburzonych utworach. Cechy te wraz z niewielkimi rozmiarami sprawiały, że kontury osuwisk szybko ulegały zatarciu, a to z kolei stwarzało problemem w uzyskaniu dużej, odpowiedniej dla skali mapy 1:1000, dokładności wyznacza-

nia granic. Jedynie w przypadku świeżo powstałego osuwiska można wyznaczyć jego granice w sposób pewny, z dokładnością ± 1 m (rys. 5). W większości przypadków osuwiska aktywne i okresowo aktywne można określić dokładny zasięg tylko skarp osuwiskowych, które zwykle są lepiej zachowane niż pozostałe elementy rzeźby wewnątrz osuwiskowej.

Korzystanie z map zasadniczych w skali 1:1000 wraz z użyciem aktualnej ortofotomapy umożliwiło dokładne określenie zagrożeń infrastruktury podziemnej. Mapy te nie były jednak przydatne dla analizy morfologii terenu i budowy geologicznej. Ich podstawową wadą była uboga informacja o stanie powierzchni terenu np. o podmokłościach i roślinności oraz maniera przedstawiania stromych stoków jako skarpy, bez rysunku poziomicowego. W efekcie nie można było ich używać do kartowania terenów zagrożonych ruchami masowymi. Tereny zagrożone wyznaczano na podstawie kryteriów geomorfologicznych, geologicznych, hydrologicznych i antropogenicznych. Ponadto w rejonie wielu osuwisk rysunek poziomicowy ukształtowania powierzchni terenu różnił się istotnie od przedstawionego na mapach w skali 1:10 000. W



Rys. 5. Figura ilustrująca różnice w dokładności lokalizowania granic osuwiska na mapach w różnej skali. A – mapa w skali 1:10 000; B – mapa zasadnicza (dane Urzędu Miejskiego w Gdyni)

Fig. 5. Figure illustrates the differences in the accuracy of locating landslides boundaries on maps at different scales. A - map at a scale of 1:10 000, B - basic map (based on the Municipal Office in Gdynia)

konsekwencji w wielu przypadkach granice osuwisk na mapach w różnej skali są nieco inne (rys. 6).

Standardowo trudne było kartowanie w obszarach zabudowanych, tam gdzie badania ruchów masowych są najbardziej przydatne i wskazane. Przyczynami były brak dostępności (liczne ogrodzenia) oraz przekształcenia antropogeniczne powierzchni terenu. W związku z tym można przypuszczać, że obraz zagrożeń ruchami masowymi jest w tych rejonach niepełny.

Opracowany przez PIG-PIB Oddział Geologii Morza w 2011 roku „Rejestr osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi dla terenu Gdańska” został przez autorów zaprezentowany władzom miasta Gdańska, pracownikom poszczególnych wydziałów urzędu oraz jednostkom organizacyjnym miasta Gdańska odpowiadającym za utrzymanie i rozbudowę infrastruktury komunalnej, a także w Biurze Rozwoju Miasta Gdańska. Prezentacje uświadomiły zgromadzonym, że jest to narzędzie umożliwiające świadome zarządzanie obszarami narażonymi na ruchy masowe ziem oraz terenami, na których wystąpiły te ruchy. Opracowanie zostało przyjęte z ogromną



Rys. 6. Osuwisko o pow. $< 0,5$ ha na mapach w różnej skali. A – mapa w skali 1:10 000; B – mapa zasadnicza (dane Urzędu Miejskiego w Gdyni)

Fig. 6. Small landslide (area < 0.5 ha) on maps at different scales. A - map in a scale of 1:10 000, B - basic map (based on the Municipal Office in Gdynia)

aprobata. Ustalenia zawarte w rejestrze wykorzystywane są obecnie przez planistów, administrację architektoniczno-budowlaną ustalającą warunki zabudowy terenu i udzielającą pozwoleń na budowę, pracowników urzędu zajmujących się obrotem nieruchomości należącymi do gminy oraz zarządzających infrastrukturą komunalną, a także przez służby odpowiedzialne za utrzymanie tych terenów. Władze miasta Gdańska podjęły decyzję o wdrożeniu monitoringu osuwisk.

Wnioski

Wykonane mapy osuwisk i terenów zagrożonych w Gdańsku i Gdyni wykazały dobitnie ich przydatność i duże znaczenie w planowaniu i realizowaniu rozwoju miast pozakarpaccich, położonych w rejonach o dużych deniwelacjach powierzchni terenu. Ponieważ o powstaniu większości osuwisk zdecydowały przyczyny antropogeniczne przedstawione na mapach informacje są ostrzeżeniem i wskazaniem by nie lekceważyć zagrożeń tego rodzaju.

Z przeprowadzonych prac płyną także wskazówki metodyczne dla autorów map osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi w podobnych rejonach miejskich.

W warunkach miejskich terenami zagrożonymi są także obszary, na których osuwiska mogą być uruchomione w przyszłości poprzez różnego rodzaju oddziaływania antropogeniczne. Aktualnie metodyka wyznaczania terenów zagrożonych opiera się na realnym istnieniu, zwykle co najmniej dwóch, czynników sprzyjających powstaniu osuwisk. W miastach czynnik antropogeniczny istnieje wszędzie, choćby tylko w danym momencie potencjalnie.

Inną, zdaniem autorów, ważną wskazówką jest konieczność sporządzenia mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi w skali identycznej jak skala map planistycznych - jest to zwykle wymaganiem inwestora. W przypadku gdy mapy planistyczne są w dużej skali np. 1:1000, 1:2000, należy kartować także na mapach topograficznych w skali 1:10 000. Mapy w dużej skali zwykle uniemożliwiają analizę geomor-

fologiczną, konieczną dla wskazania terenów zagrożonych, natomiast jest ona możliwa na mapach topograficznych w skali 1:10 000. Mapy te mają pewną dodatkową zaletę, która zwykle jest uważana za wadę, a jest nią nieaktualność, wynikająca z bardzo szybkich zmian topografii miast. W tej sytuacji tylko na tych mapach możemy dokonać analizy naturalnego ukształtowania powierzchni terenu przez zabudowę. Pamiętać jednak należy, że często nie jest możliwe automatyczne przeniesienie granic osuwisk i terenów zagrożonych z jednej mapy na drugą bez korekty autorskiej.

Niezbędne jest uświadomienie odbiorcom map pewności wyznaczonych granic osuwisk, a zwłaszcza terenów zagrożonych. W terenie granice te wykreśla z różną dokładnością przyroda, zwykle częściowo je zamazując, co w największym stopniu decyduje o możliwej dokładności kartowania.

Projektując wykonanie mapy osuwisk i terenów zagrożonych na obszarach podobnych do terenów trójmiejskich, należy rozważyć wykonanie uzupełniających kartograficznych badań geologicznych. Miejscami budowa geologiczna przedstawiona na szczegółowej mapie geologicznej jest ze względów metodycznych uogólniona i przez to mało kompatybilna z mapą osuwisk w skali 1:10 000 i prawie nieprzydatna dla mapy np. w skali 1:1000.

Pomimo wykonania prac kartograficznych z dokładnością odpowiednią dla map w skali 1:1000 cechy terenu miejskiego takie jak zabudowa, brak dostępności (liczne ogrodzenia) i inne przekształcenia antropogeniczne sprawiły, że obraz zagrożeń ruchami masowymi jest w tych rejonach, prawdopodobnie niepełny. W celu uzyskania pełniejszych danych wskazane jest sporządzenie map podatności osuwiskowej w technologii GIS, przy pomocy narzędzi geoprzetwarzania, klasyfikujących cały badany obszar od terenów mało do bardzo podatnych na osuwanie. Badania tego typu są powszechnie rozwijane w wielu krajach świata oraz od niedawna w Karpatach (Długosz, 2011).

Literatura

- [1] Długosz M. 2011 – Podatność stoków na osuwanie w polskich Karpatach Fliszowych. *Prac. Geogr. IGIPZ PAN*, 230: 1-112
- [2] Frankowski Z., Zachowicz J. (red.) 2007 – Baza danych geologiczno-inżynierskich wraz z opracowaniem atlasu geologiczno-inżynierskiego Aglomeracji Trójmiejskiej Gdańsk – Sopot – Gdynia. CAG PIG – PIB, Warszawa – Gdańsk
- [3] Grabowski D. 2008 – System Osłony Przeciwosuwiskowej SOPO. *Prz. Geol.*, 56 (7): 537–538
- [4] Jurys L., Frydel J., Kaulbarsz D., Małka A., Pączek U., Szarafin T., Woźniak T., Zaleszkiewicz L. 2011a – Rejestr osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi dla terenu miasta Gdańska. <http://geoportal.pgi.gov.pl/sopo-gview/objpdf?f=388>
- [5] Jurys L., Małka A., Pączek U., Szarafin T. 2011b – Rejestr osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi dla terenu miasta Gdyni. CAG OGM, PIG – PIB, Gdańsk
- [6] Pikies R., Zaleszkiewicz L. 2003, - Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Rumia (15) wraz z objaśnieniami, PIG, Warszawa
- [7] Pikies R., Zaleszkiewicz L. 2013 - Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Gdańsk (reambulacja), wraz z objaśnieniami., CAG PIG – PIB, Warszawa

- [8] Mojski J.E. 1979a – Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Gdańsk (27) wraz z objaśnieniami. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa
- [9] Mojski J.E. 1979b – Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Gdynia (55). Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa
- [10] Kondracki J. 2011 – Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa
- [11] Leśniak T., Czuj-Górniak M. 2004 – Karty dokumentacyjne osuwisk (<http://www.geozagrozenia.agh.edu.pl>)
- [12] Kuhn A., Miłoszewska W. (red.) 1971 – Katalog osuwisk województwo gdańskie. Instytut Geologiczny, Zakład Geologii Inżynierskiej. CAG PIG – PIB. Warszawa



foto. Teresa Świerubska

Wodzilki - wieś staroobrzędowców