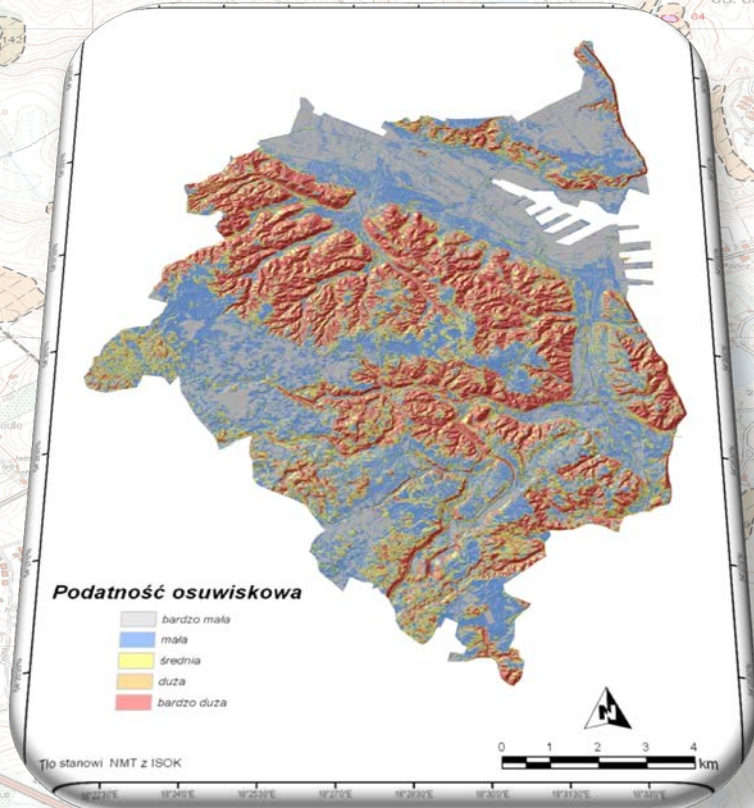


Geoinformacyjne modelowanie podatności osuwiskowej nadmorskich obszarów młodoglacjalnych na przykładzie Trójmiasta

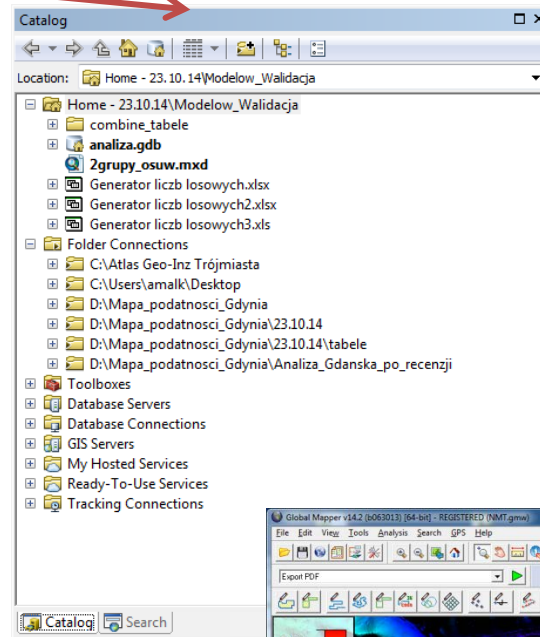
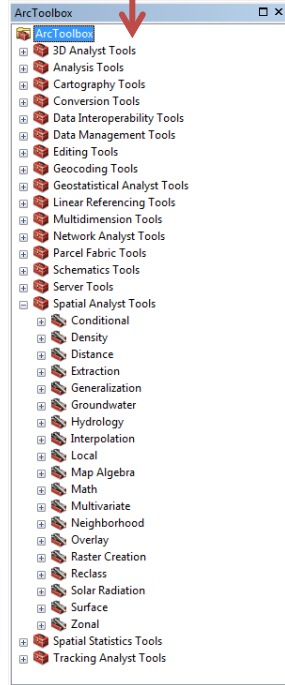
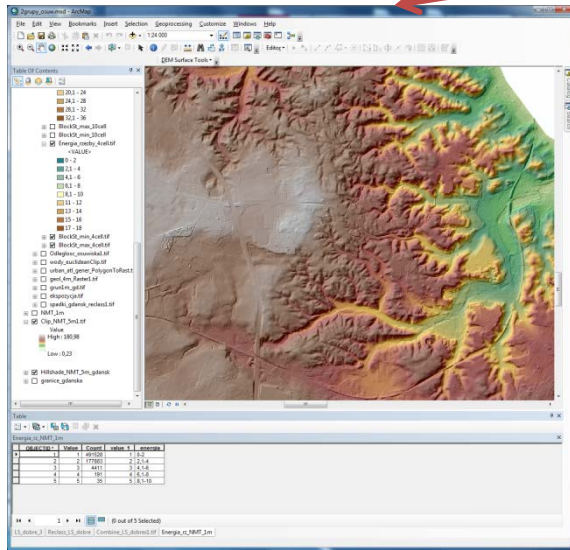


Anna Małka

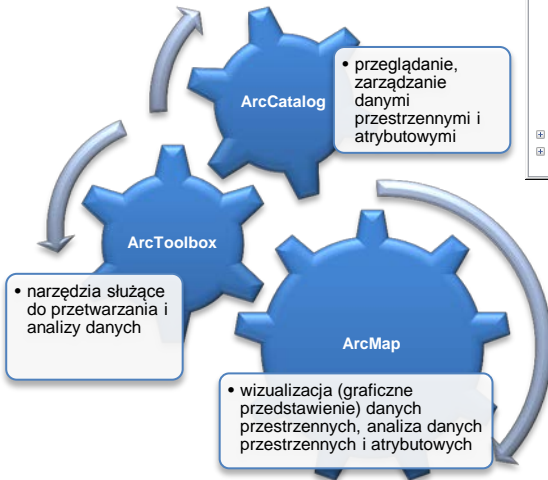
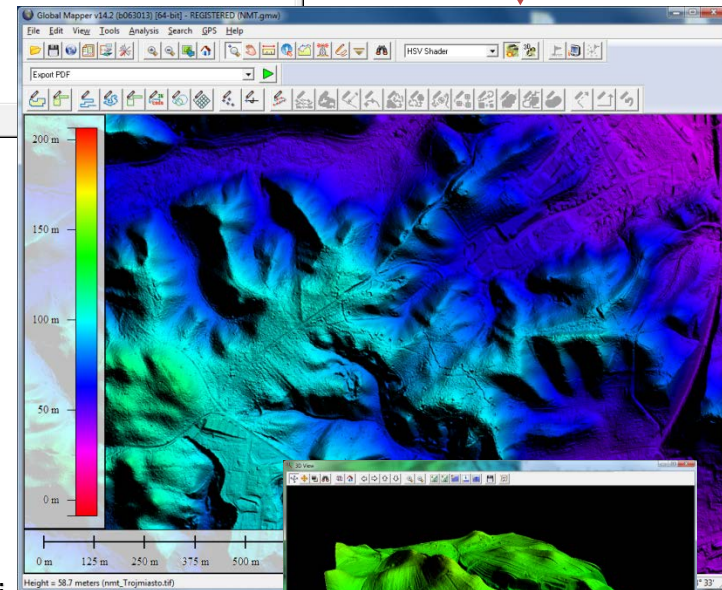
20.05.2015, Wieliczka

OPROGRAMOWANIE

ArcGIS v.10.2



Global Mapper
v.14.2



Global Mapper

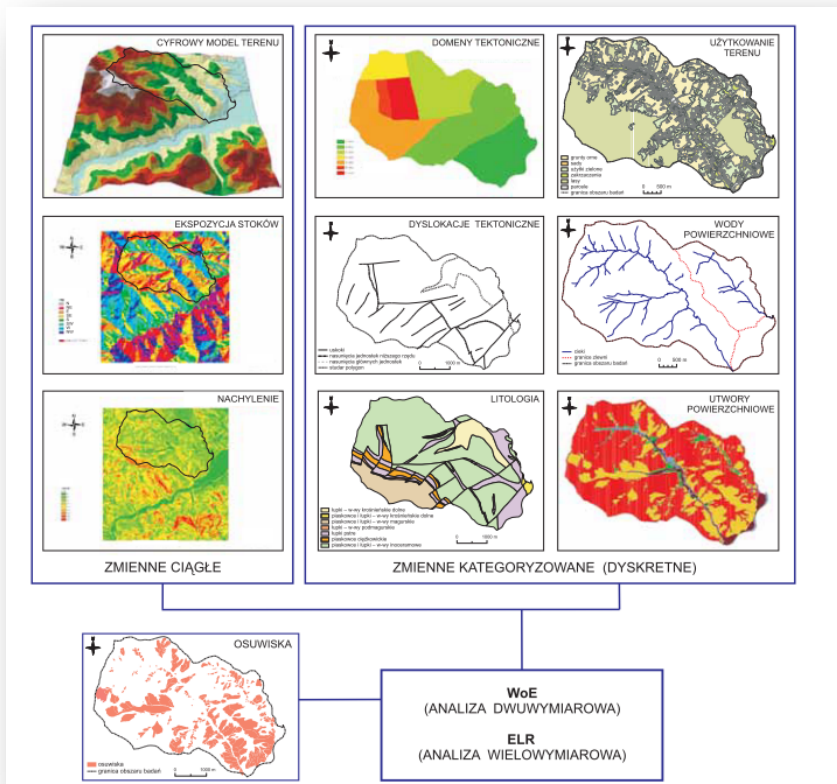
- konwersja danych (.asc na .geotiff; .shp na .tab; .tab na .geotiff;)
- zmiana rozdzielczości danych wysokościowych
- wizualizacja 3D

PODSTAWOWE POJĘCIA (wg. Varnesa 1984, Mrozek 2008)

H S – Podatność na osuwanie (*susceptibility*) – oznacza możliwość wystąpienia destrukcyjnego zjawiska (ruchu masowego) w danym obszarze ze względu na istniejące tam warunki środowiskowe.

H – Zagrożenie (*hazard*) – oznacza prawdopodobieństwo wystąpienia potencjalnie destrukcyjnego zjawiska (osuwania) w danym obszarze w danym okresie czasu.

R – Ryzyko (*risk*) – oznacza przewidywaną liczbę ofiar śmiertelnych lub rannych oraz wielkość zniszczenia dóbr i zaburzenia działalności gospodarczej w wyniku wystąpienia destrukcyjnego zjawiska (osuwania).



Warstwy monotematyczne (zienne ciągłe i dyskretne) odpowiadające czynnikom pasywnym wykorzystanym w opracowaniu mapy podatności osuwiskowej przy pomocy metod statystycznych rejonu Szymbarku (*T. Mrozek 2008*)

UWARUNKOWANIA ŚRODOWISKOWE POWSTAWANIA OSUWISK

Podatność osuwiskową oblicza się bazując na zinwentaryzowanych danych o osuwiskach oraz informacjach o czynnikach środowiskowych, zwizualizowanych w postaci map. Najczęściej używane są w analizach GIS czynniki pasywne, do których należą rzeźba (nachylenie, profil, wysokość, ekspozycja, deniwelacje stoku), budowa geologiczna (litologia, tektonika), stosunki wodne oraz użytkowanie terenu.

CZYNNIKI BIERNE – PASYWNE (mało zmienne w czasie)



Budowa geologiczna
(litologia, tektonika, glaciektonika)



Morfologia stoku
(nachylenie, deniwelacje, profil, ekspozycja)



Użytkowanie terenu



Warunki hydrologiczne i hydrogeologiczne (PPW)

CZYNNIKI ATYWNE – IMPULS SPRAWCZY (zmienne w czasie)



Procesy geologiczne i geomorfologiczne (wietrzenie, erozja, abrazja, trzęsienia ziemi, wybuchy wulkanów, procesy niwalne)



Warunki hydrogeologiczne (infiltracja i krążenie wód w górotworze)



Warunki atmosferyczne (opady, roztopy śnieżne)



Wegetacja roślinności (usunięcie szaty roślinnej)

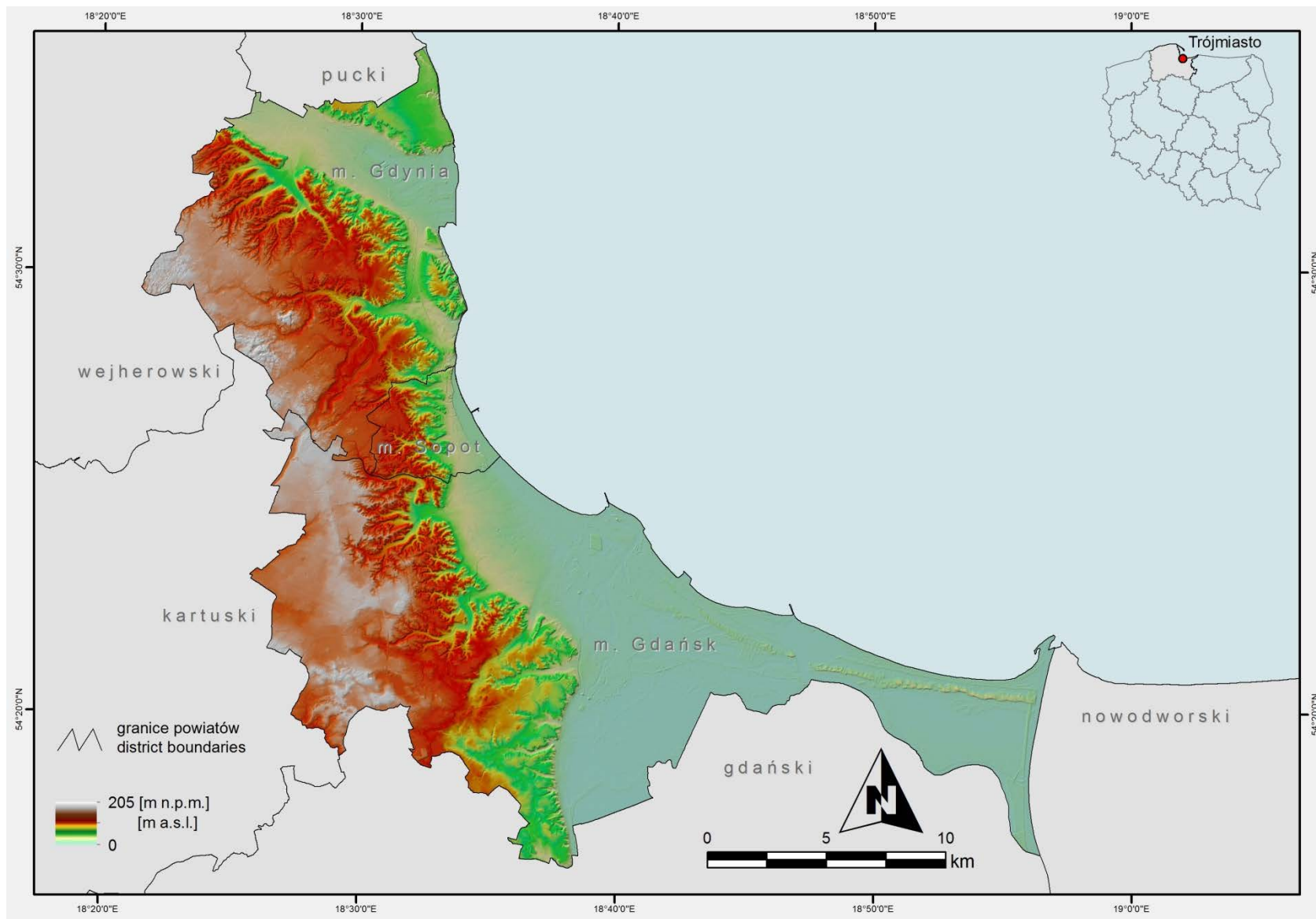


Działalność człowieka (podcięcie stoku, obciążenie lub odciążenie stoku, zmiana warunków hydrogeologicznych lub hydrograficznych, eksplozje, ruch samochodowy, wibracje wywołane przez maszyny)



Eksploatacja złóż kopalin

OBSZAR BADAŃ



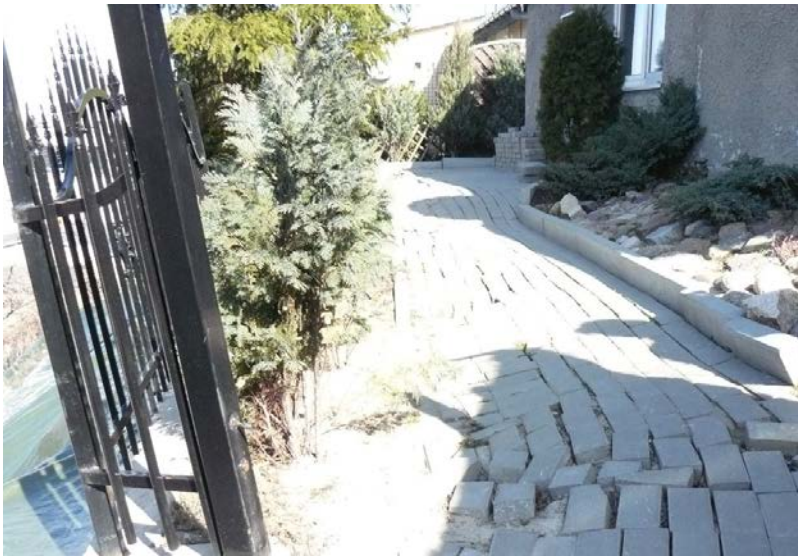
PRZYKŁAD ZNISZCZEŃ SPOWODOWANYCH PRZEZ OSUWISKA W TRÓJMIEŚCIE



Osuwisko w północnej części dzielnicy Wzgórze Mickiewicza w Gdańsku (fot. T. Szarafin)



Osuwisko przy ulicy Dembińskiego w Gdyni, kolumium napierające na budynek mieszkalny (fot T. Szarafin)



Osuwisko przy ulicy Dembińskiego w Gdyni (fot T. Szarafin)



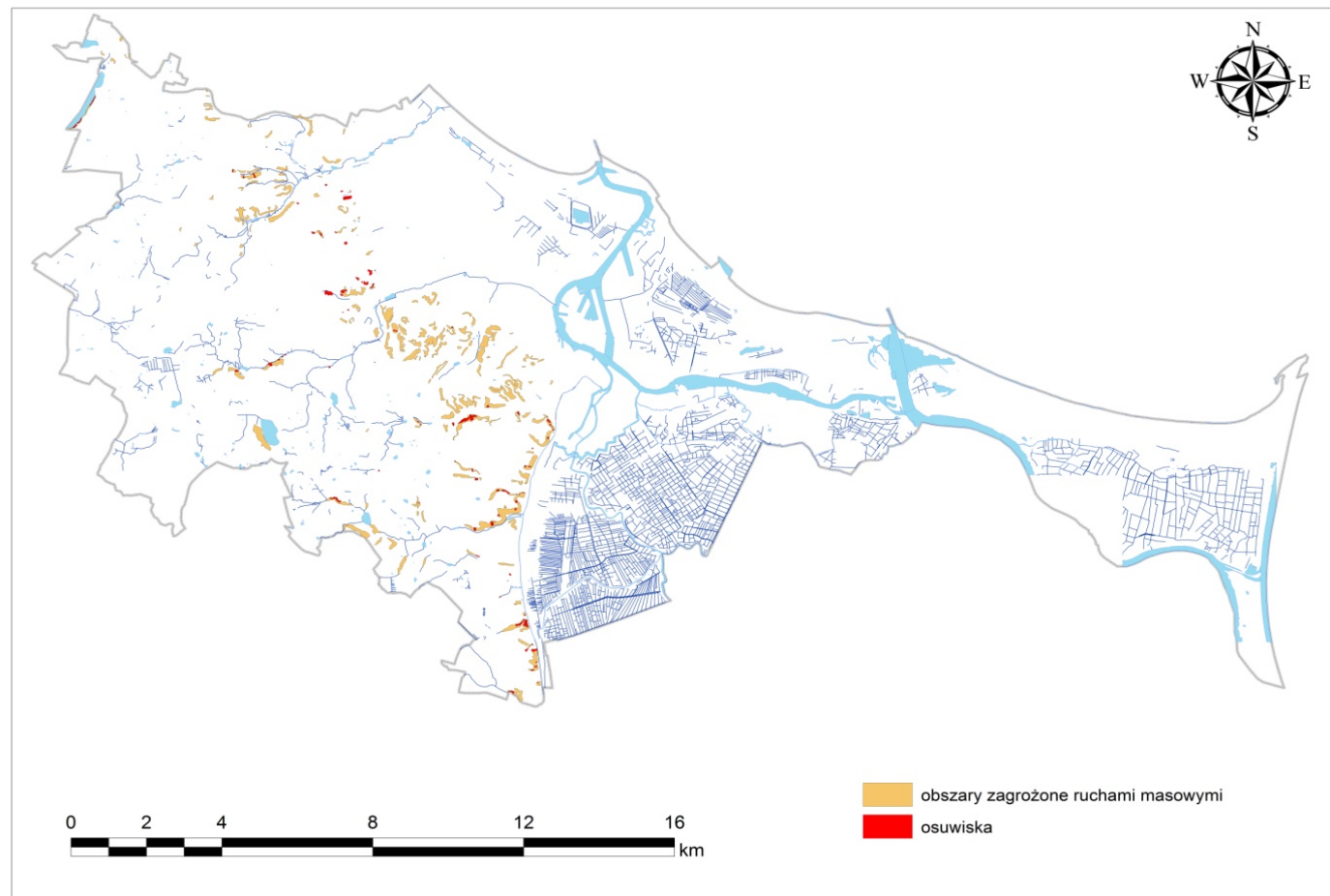
Osuwisko przy ulicy Ornej w Gdyni (fot. A. Małka)

REJESTR OSUWISK I TERENÓW ZAGROŻONYCH RUCHAMI MASOWYMI ZIEMI DLA TERENU MIASTA GDAŃSKA

- Opracowano w ramach umowy z dnia 14.01.2011r. zawartej pomiędzy Gminą Miasta Gdańsk, a Państwowym Instytutem Geologicznym – PIB
- głównym celem było rozpoznanie i udokumentowanie osuwisk oraz terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi na obszarze miasta Gdańsk

W ramach zlecenia wykonano:

- Mapę osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi (w skrócie MOTZ) w skali 1:10 000 na podkładach topograficznych w układzie „1992”
- MOTZ w skali 1:1000 na podkładzie geodezyjnym w układzie lokalnym „Gdańsk 70” (w wersji elektronicznej)
- wypełnione karty rejestracyjne osuwisk (KRO) i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi (KRTZ).
- dane wprowadzone zostały do bazy danych Systemu Osłony Przeciwosuwiskowej SOPO, a dodatkowo dla zlecniodawcy zasób danych pozyskano w formacie .dbf dla MS Access 2007.



Mapa osuwisk i terenów zagrożonych miastem Gdańsk (Jurys i in. 2011)

Terenowe prace kartograficzne
przeprowadzono na obszarze około
125 km²

Powierzchnia powiatu – 262 km²

Liczba osuwisk – **96**

aktywnych – **11**

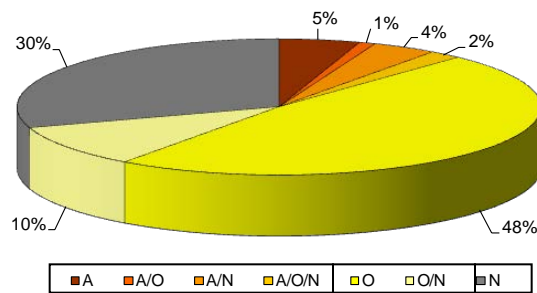
okresowo aktywnych – **55**

nieaktywnych – **29**

W tym:

do monitoringu ogólnego – **34**

do monitoringu szczegółowego – **3**



Wskaźnik gęstości osuwiskowej – **0,3** osuwiska/ 1 km² dla całego powiatu

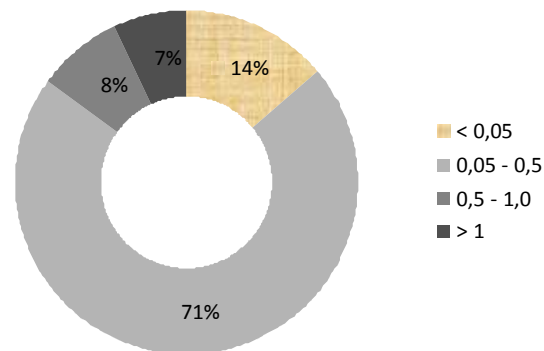
Powierzchnia wszystkich osuwisk – 32 ha

w tym około 70% to osuwiska

o powierzchni między 0,05 – 0,5 ha

Liczba terenów zagrożonych – 169

Powierzchnia terenów zagrożonych – 382,2 ha



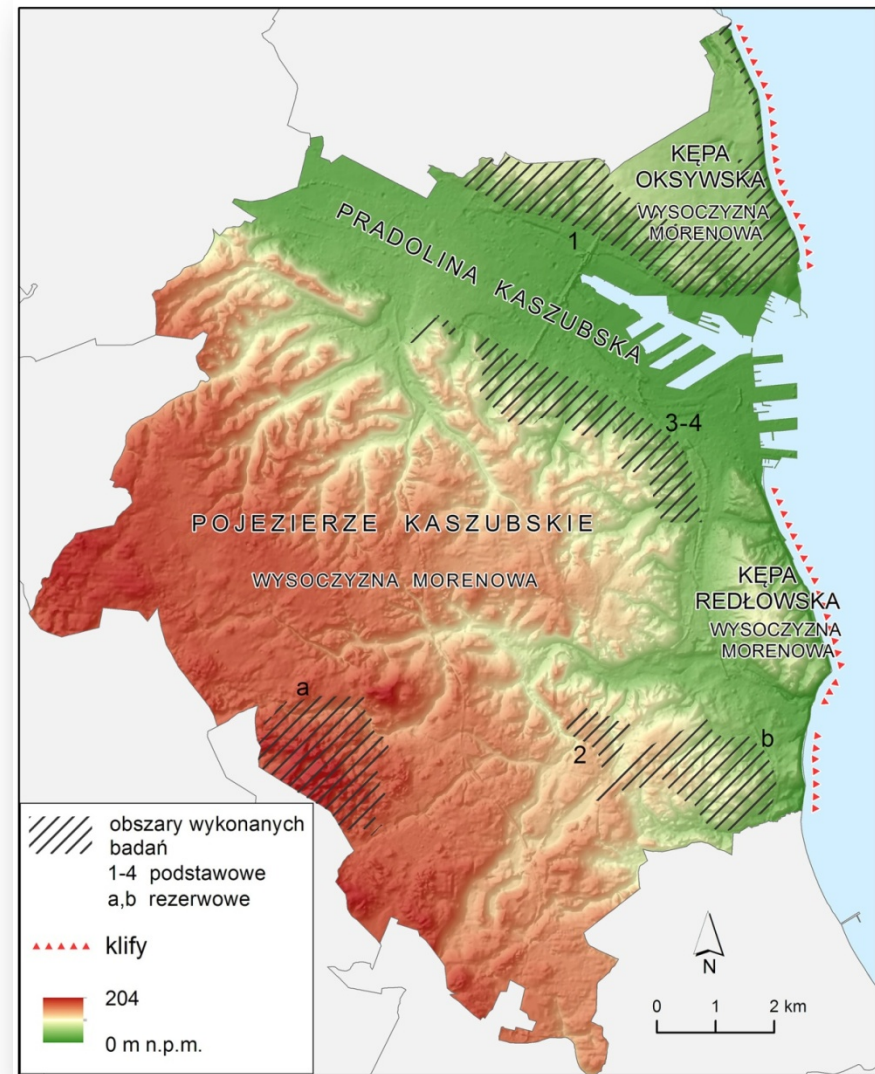
REJESTR OSUWISK I TERENÓW ZAGROŻONYCH RUCHAMI MASOWYMI ZIEMI DLA TERENU MIASTA GDYNIA

- wykonano w ramach umowy 23.02.2012 r. zawartej pomiędzy Gminą Miasta Gdyni, a Państwowym Instytutem Geologicznym – Państwowym Instytutem Badawczym
- głównym celem było rozpoznanie i udokumentowanie osuwisk oraz terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi na obszarze miasta Gdynia

W ramach zlecenia wykonano

- Mapę osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi (w skrócie MOTZ) w skali 1:10 000 na podkładach topograficznych w układzie „1992” wraz z objaśnieniami,
- MOTZ w skali 1:1000 na podkładzie geodezyjnym w układzie „2000” (w wersji elektronicznej) w formacie .dgn
- wypełnione karty rejestracyjne osuwisk (KRO) i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi (KRTZ).
- dane wprowadzone zostały do bazy danych Systemu Osłony Przeciwosuwiskowej SOPO, a dodatkowo dla zlecienniodawcy zasób danych pozyskano w formacie .dbf dla MS Access 2007.

Terenowe prace kartograficzne
przeprowadzono na obszarze około
24 km²



Obszary w granicach miasta Gdyni wytypowane do rejestracji osuwisk i terenów zagrożonych (Jurys i in. 2012)

POWIAT MIASTO GDYNIA – WYNIKI PRAC TERENOWYCH

Powierzchnia powiatu – **135,14** km²

Liczba osuwisk – **48**

aktywnych – **12**

okresowo aktywnych – **55**

nieaktywnych – **29**

W tym:

do monitoringu szczegółowego – **2**

Wskaźnik gęstości osuwiskowej **> 0,3**

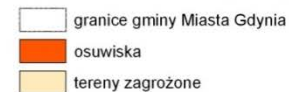
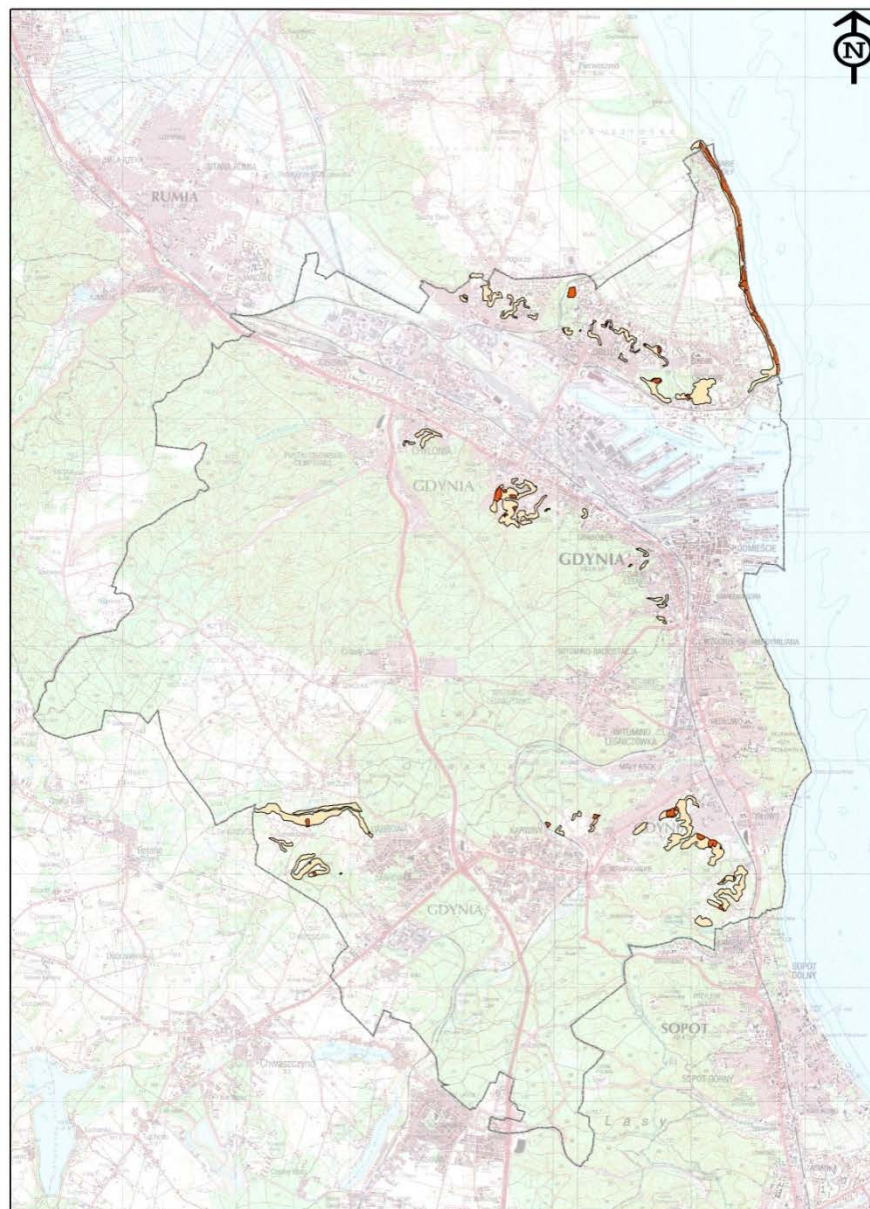
osuwiska/ 1 km² dla całego powiatu

Powierzchnia wszystkich osuwisk – **37,6** ha

w tym około 74 % to osuwiska
o powierzchni między **1 – 8** ha

Liczba terenów zagrożonych – **38**

Powierzchnia terenów zagrożonych – **224,4** ha



$$\ln W_i = \ln \left(\frac{Densclas}{Densmap} \right) = \ln \left(\frac{\frac{Npix(Si)}{Npix(Ni)}}{\frac{\sum Npix(Si)}{\sum Npix(Ni)}} \right)$$

W_i – współczynnik podatności na osuwanie przypisany do danej klasy mapy tematycznej

$Densclas$ – gęstość osuwiskowa w obrębie danej klasy mapy tematycznej

$Densmap$ – gęstość osuwiskowa w obrębie całej mapy

$Npix(Si)$ – liczba pikseli z osuwiskami w obrębie danej klasy mapy tematycznej

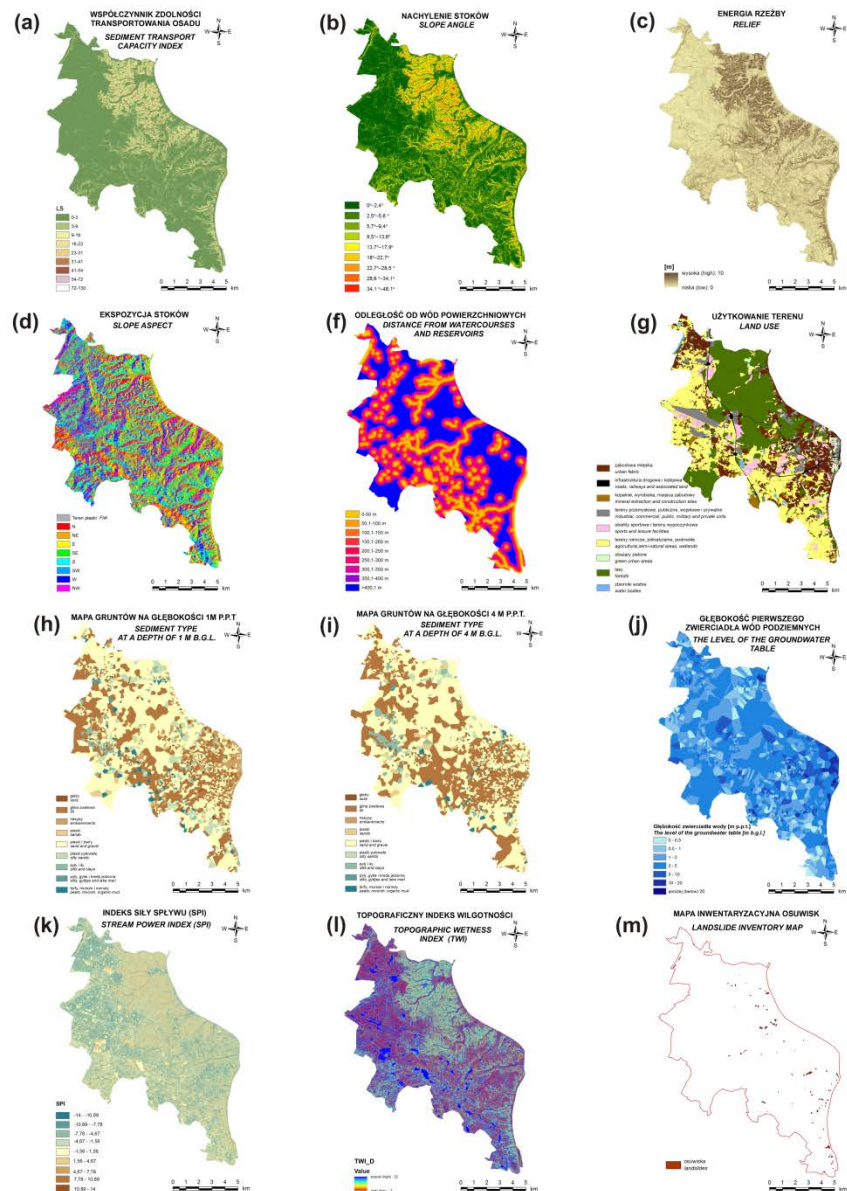
$Npix(Ni)$ – liczba pikseli w obrębie danej klasy mapy tematycznej



ANALIZA PODATNOŚCI OSUWISKOWEJ DLA GDAŃSKA

W modelowaniu użyto 11 warstw tematycznych w skali 1: 10 000

- (a) współczynnik zdolności transportowania osadu (LS),
- (b) nachylenie,
- (c) energia rzeźby,
- (d) ekspozycja,
- (e) odległość od wód powierzchniowych,
- (f) użytkowanie terenu,
- (g) mapa gruntów na głębokości 1m p.p.t.,
- (h) mapa gruntów na głębokości 4m p.p.t.,
- (i) głębokość pierwszego zwierciadła wód podziemnych,
- (j) indeks siły spływu (SPI),
- (k) topograficzny indeks wilgotności (TWI).

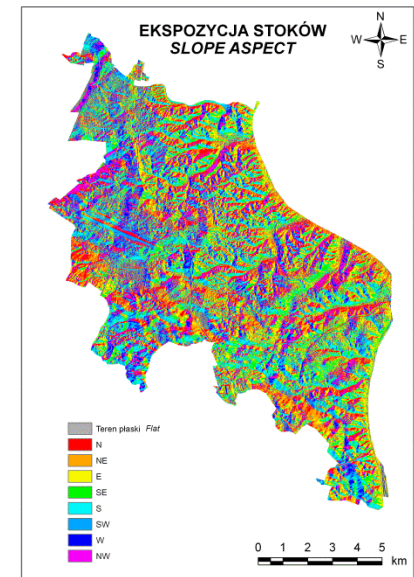
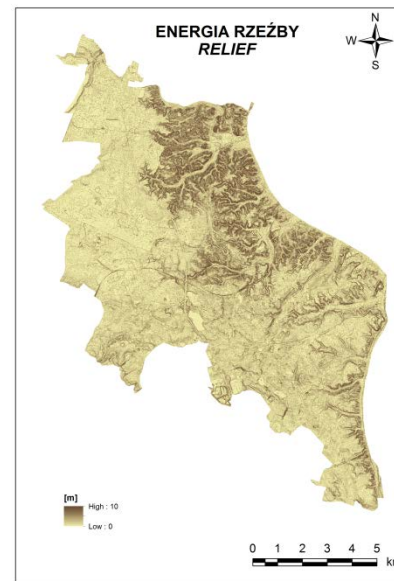
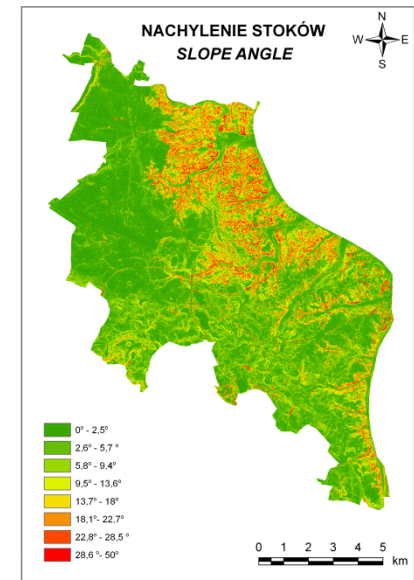
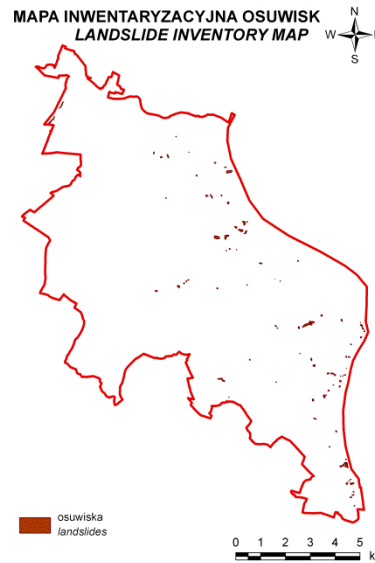


DANE WEJŚCIOWE (CZYNNIKI PASYWNE) UŻYTE W ANALIZIE

Bazowe źródło informacji w przeprowadzonej analizie GIS stanowi **Mapa osuwisk i terenów zagrożonych (MOTZ)**.

DANE RASTROWE

Numeryczny Model Terenu (NMT) o rozdzielczości 5x5 m – zbudowany na podstawie danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego (ALS – *Airborne Laser Scanning*), określanych również mianem **LIDAR** (*Light Detection and Ranging*) z projektu ISOK. Na podstawie NMT obliczono pierwotne i wtórne atrybuty topograficzne.



WTÓRNE ATRYBUTY TOPOGRAFICZNE

Współczynnik zdolności transportowania osadu LS

Jest odpowiednikiem iloczynu topograficznego czynników L i S w empirycznym modelu erozji gleb USLE (Universal Soil Loss Equation)

Indeks LS obliczono z wyrażenia:

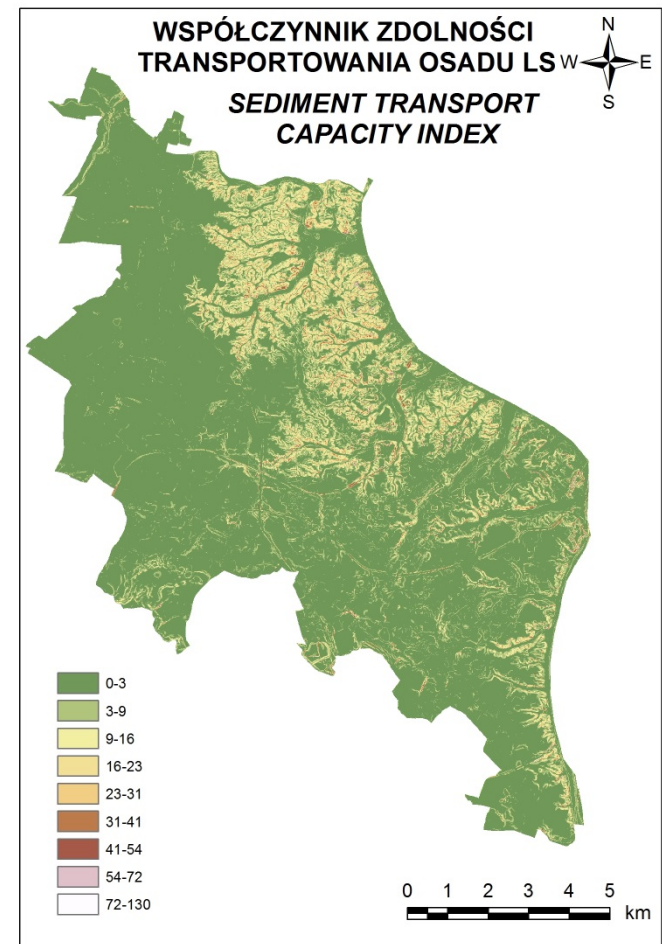
$$LS = (\lambda / 22.1)^m * (65.41 \sin^2 \beta + 4.56 \sin \beta + 0.065)$$

λ - długość stoku

β - nachylenie stoku

m - wykładnik (indeks skorelowany z wartością nachylenia) dla badanego obszaru m=0,5

Współczynnik zdolności transportowania osadu (LS-factor) opisuje połączone efekty długości stoku (czyli długości spływu) i nachylenia.



WTÓRNE ATRYBUTY TOPOGRAFICZNE

Topograficzny indeks wilgotności TWI jest jedną z miar ilościowych opisującą wpływ topografii na procesy hydrologiczne

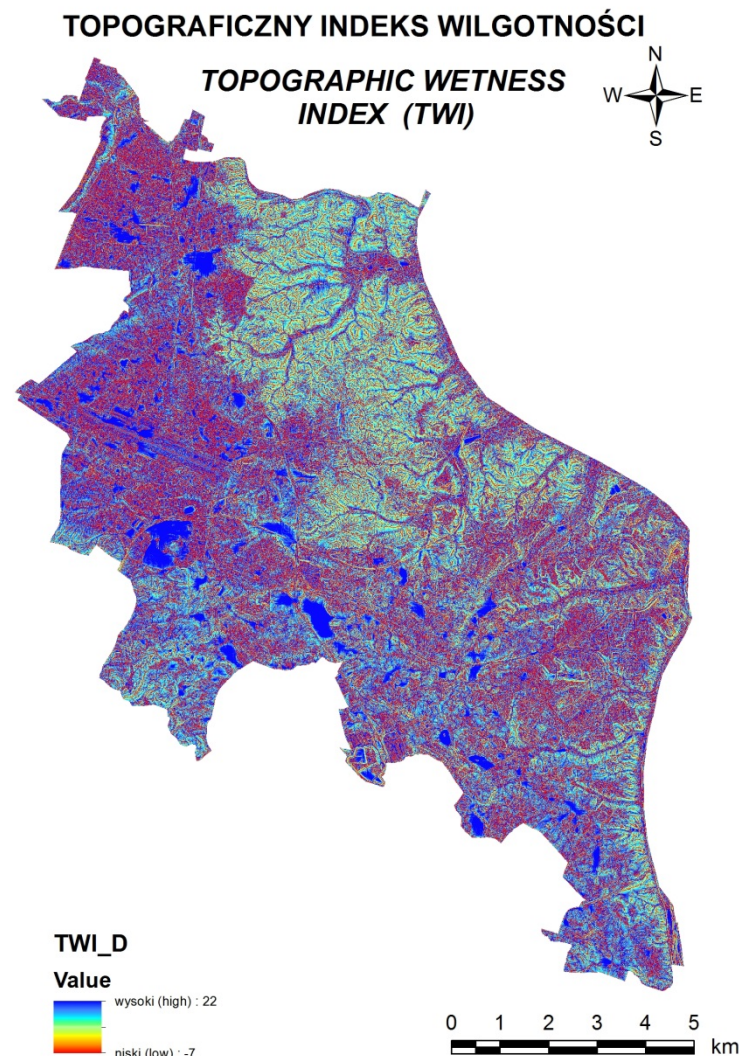
Indeks TWI obliczono z wyrażenia:

$$TWI = \ln(A_s / \tan \beta)$$

A_s – właściwa lokalna powierzchnia zlewni

β – kąt nachylenia stoku

Najwyższe wartości indeksu osiąga przy dużym obszarze zasilania i małym kącie nachylenia. Ze względów topograficznych, takie miejsca powinny odznaczać się znaczną wilgotnością terenu. Indeks TWI opisuje wpływ topografii na wilgotność osadów powierzchniowych.



WTÓRNE ATRYBUTY TOPOGRAFICZNE

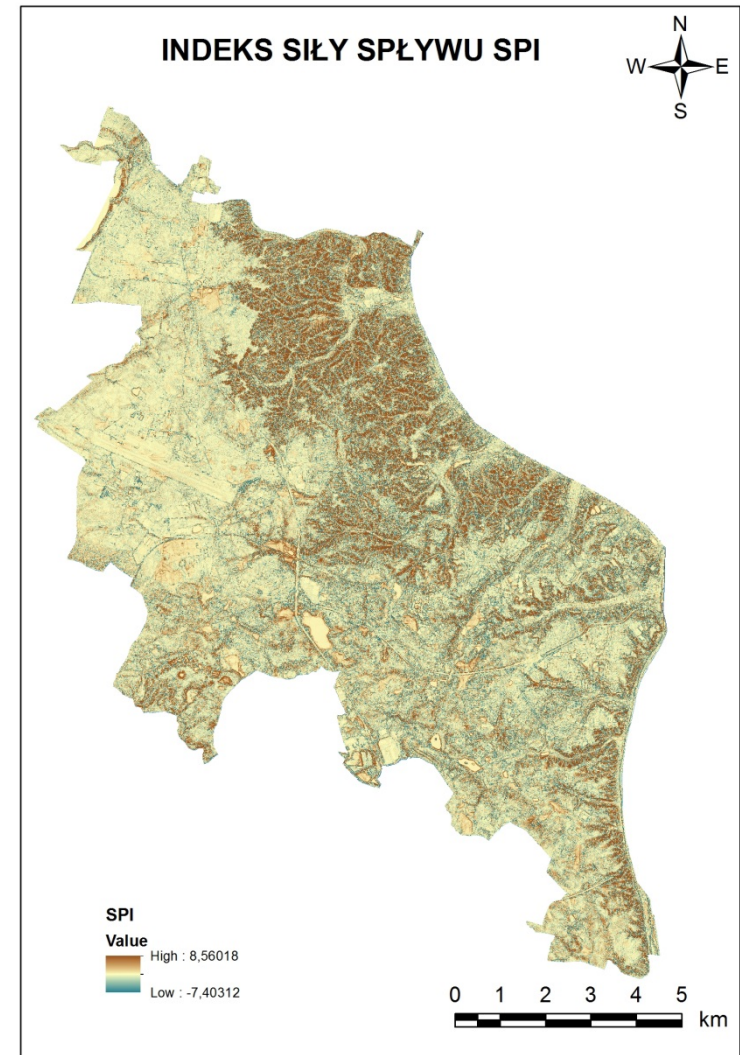
Indeks siły spływu jest miarą potencjalnej siły erozyjnej wody, spływającej po powierzchni terenu. Oparty jest na założeniu, że ilość spływającej wody jest proporcjonalna do powierzchni obszaru zasilającego, czyli obszaru, z którego woda spływa do danej komórki. Następstwem zwiększenia się objętości spływającej wody i nachylenia stoku jest zwiększenie ryzyka erozji.

Indeks SPI obliczono z wyrażenia:

$$\text{SPI} = \ln(A_s * \tan \beta)$$

A_s – właściwa lokalna powierzchnia zlewni

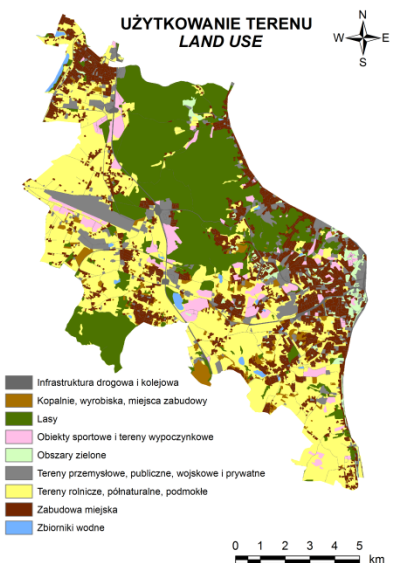
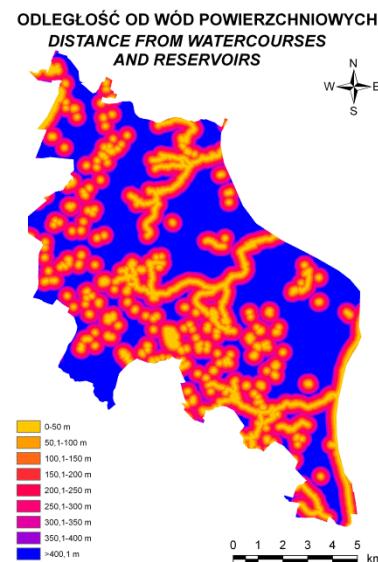
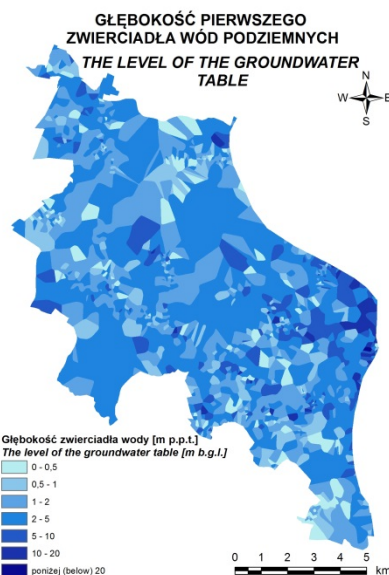
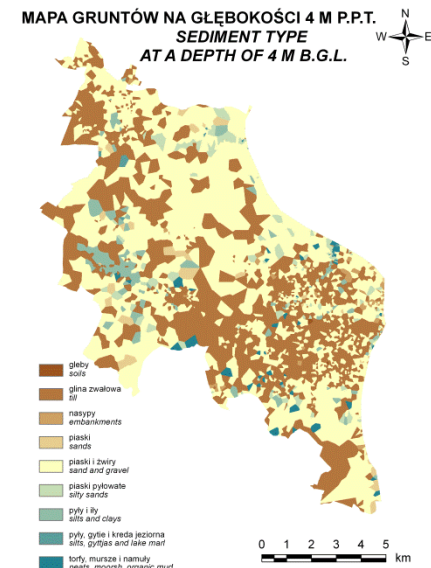
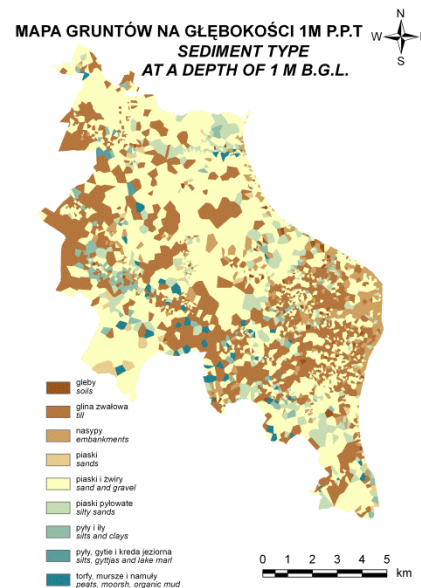
β – kąt nachylenia stoku



DANE WEJŚCIOWE (CZYNNIKI PASYWNE) UŻYTE W ANALIZIE

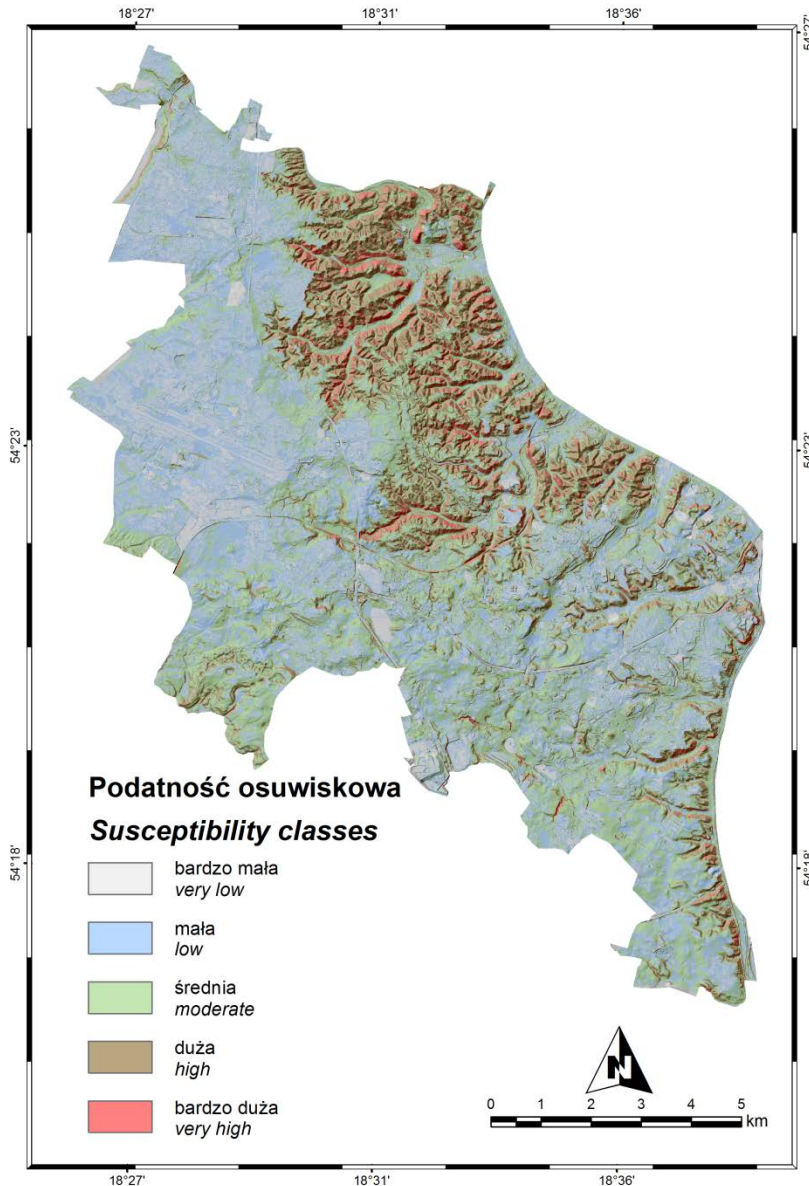
DANE WEKTOROWE

- bazy danych obiektów topograficznych (BDOT) pozyskane z GUGIK
- „Atlas geologiczno-inżynierski Aglomeracji Trójmiejskiej” - mapy gruntów na głębokości 1,0 i 4,0 m. p.p.t., głębokość PPW obliczona na podst. danych otworowych z dokumentacji geologiczno-inżynierskich metodą alokacji euklidesowej
- bazę danych „Urban Atlas” pozyskaną z Europejskiej Agencji Środowiska (EEA)



Dokładność wszystkich wykorzystanych do analizy map odpowiada dokładności kartometrycznej mapy w skali 1:10 000.

MAPA PODATNOŚCI OSUWISKOWEJ GDAŃSKA

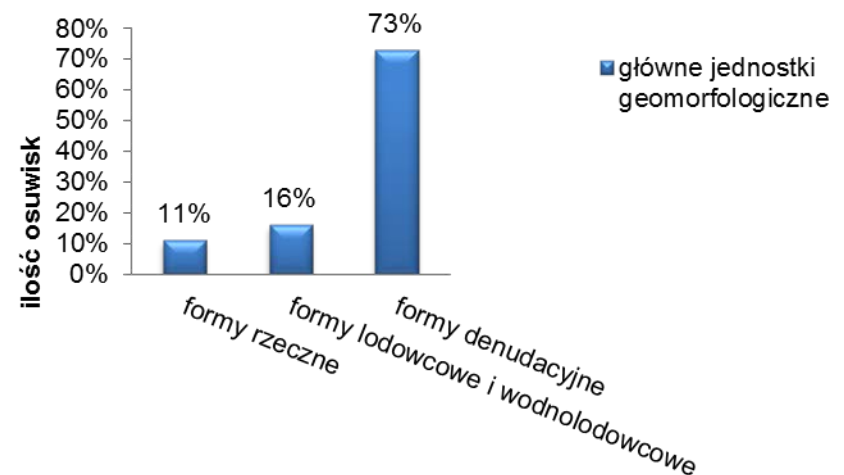


Zbiór zinwentaryzowanych osuwisk podzielono na dwa zróżnicowane podzbiory o liczebności 66 (~70%) i 33 (~30%). Większy podzbiór posłużył do opracowania modelu, natomiast drugi podzbiór posłużył do jego weryfikacji

Wyniki walidacji przy pomocy 2 zbioru osuwisk

Podatność	ilość pikseli z osuwiskami	udział % powierzchni
bardzo mała	8	0,1
mała	62	1,1
średnia	801	14,3
duża	3317	59,1
bardzo duża	1428	25,4

84,49% powierzchni osuwisk użytych do walidacji danych przypada na obszary o podatności od dużej do bardzo dużej



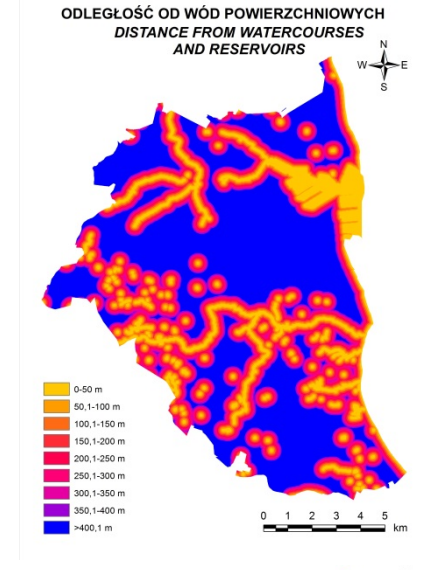
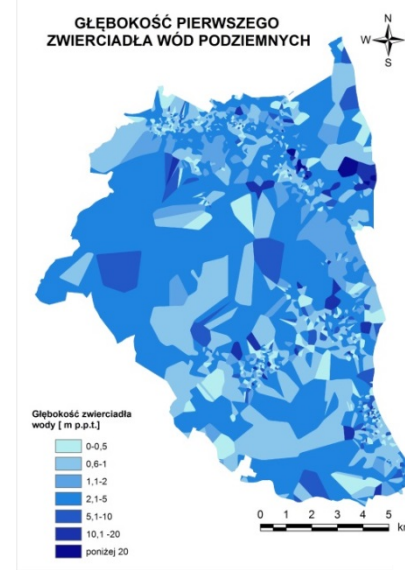
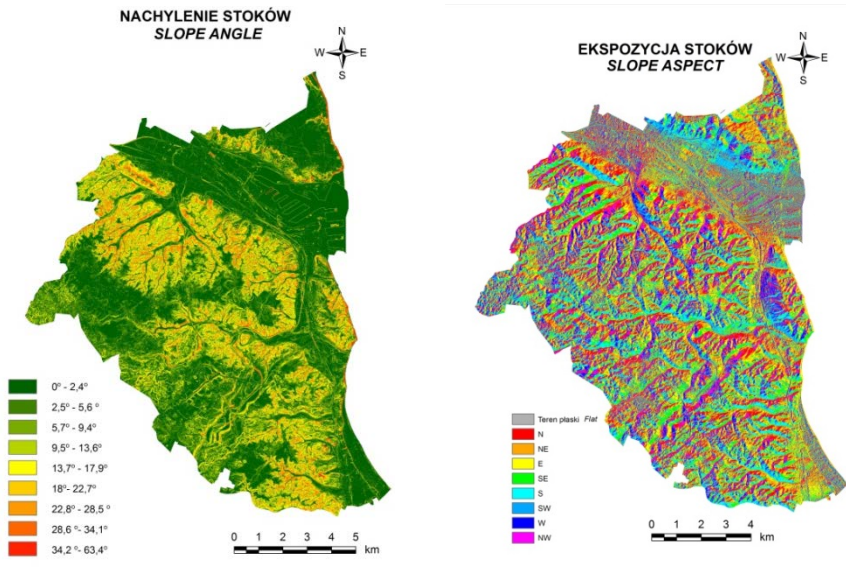
ZESTAWIENIE WSPÓŁCZYNNIKA LN W DLA KAŻDEJ KLASY MAPY TEMATYCZNEJ – GDAŃSK (WSZYSTKIE OSUWISKA)

czynnik (causal factor)	klasa (class)	lnW _i	wpływ warstw tematycznych na tworzenie się osuwisk	powierzchnia osuwisk w ha	powierzchnia klasy w ha
grunty na głębokości 1m p.p.t. (sediment type at a depth of 1 m b.g.l.)	nasypy	0,02	4,46%	2,10	800,97
	gleby	0,46		0,36	87,33
	torfy, mursze i namuly	-0,77		0,34	231,68
	piaski pyłowate	-0,18		2,18	1016,15
	piaski	-0,86		0,20	183,75
	pyły i iły	0,14		1,05	356,74
	pyły, gytie i kreda jeziorna	-7,85		0,00	39,39
	głina zwałowa	-0,15		8,56	3717,74
	piaski i żwiry	0,04		17,61	6218,18
grunty na głębokości 4m p.p.t. (sediment type at a depth of 4 m b.g.l.)	nasypy	-7,85	2,58%	0,00	111,81
	gleby	-7,85		0,00	4,37
	torfy, mursze i namuly	-0,20		0,33	155,85
	piaski pyłowate	0,62		1,82	383,68
	piaski	-0,85		0,27	243,65
	pyły i iły	-0,57		0,65	447,62
	pyły, gytie i kreda jeziorna	-7,85		0,00	22,59
	głina zwałowa	0,06		13,00	4765,39
	piaski i żwiry	-0,02		16,33	6516,99
głębokość pierwszego zwierciadła wód podziemnych (the level of the groundwater table)	0 – 0,5 m	-0,62	3,61%	0,99	717,81
	0,5 – 1 m	-0,87		1,24	1163,52
	1 – 2 m	0,24		11,30	3482,93
	2 – 5	-0,21		12,62	6133,64
	5 – 10 m	0,59		4,75	1032,05
	10 – 20 m	1,14		1,50	187,55
	poniżej 20 m	-7,84		0,00	4,38
indeks siły splywu (SPI) (stream power index (SPI))	-14 – -10,89	-3,91	4,36%	0,11	2048,93
	-10,89 – -7,78	0,28		6,61	1950,00
	-7,78 – -4,67	-5,54		0,00	2,98
	-4,67 – -1,56	-4,04		0,06	1228,45
	-1,56 – -1,56	-0,11		11,65	5073,93
	1,56 – 4,67	0,86		12,31	2027,52
	4,67 – 7,78	0,62		1,38	289,34
	7,78 – 10,89	0,50		0,25	58,05
	10,89 – 14	0,40		0,03	7,90
topograficzny indeks wilgotności (TWI) (topographic wetness index (TWI))	-7 – -3,78	0,06	4,96%	6,67	2461,84
	-3,78 – -0,56	-4,46		0,05	1534,37
	-0,56 – 2,67	1,84		1,88	114,96
	2,67 – 5,89	0,56		16,93	3796,76
	5,89 – 9,11	-0,48		6,06	3849,18
	9,11 – 12,33	-1,29		0,51	728,73
	12,33 – 15,56	-0,44		0,26	160,55
	15,56 – 18,78	-1,24		0,03	37,35
	18,78 – 22	-5,54		0,00	3,59

czynnik (causal factor)	klasa (class)	lnW _i	wpływ warstw tematycznych na tworzenie się osuwisk	powierzchnia osuwisk w ha	powierzchnia klasy w ha
współczynnik zdolności transportowania osadu (LS) (sediment transport capacity index)	0–3	-1,79	81,61%	4,16	9732,67
	3–9	0,87		8,68	1427,17
	9–16	1,35		7,54	769,40
	16–23	1,45		4,61	423,96
	23–31	1,73		3,27	226,50
	31–41	2,17		2,03	91,46
	41–54	2,75		1,28	32,27
	54–72	2,99		0,64	12,66
	72–130	3,00		0,19	3,63
	0–2,4°	-3,94		0,24	4743,69
	2,5–5,6°	-2,10		1,03	3287,27
nachylenie stoków (slope-angle classes)	5,7–9,4°	-0,42	20,62%	2,81	1679,13
	9,5–13,6°	0,72		5,37	1022,68
	13,7–17,9°	1,22		6,64	768,62
	18–22,7°	1,38		6,56	649,26
	22,7–28,5°	1,65		5,85	442,41
	28,6–34,1°	2,32		2,66	102,36
	34,1–48,1°	2,99		1,24	24,30
energia rzeźby (relief energy)	0–2 m	-0,26	11,75%	24,15	12268,71
	2,1–4 m	1,94		7,84	444,69
	4,1–6 m	2,65		0,40	11,03
	6,1–8 m	1,41		0,01	0,48
	8,1–10 m	-7,84		0,00	0,09
ekspozycja (aspect classes)	teren płaski (flat)	-7,84	3,56%	0,00	0,63
	N	0,43		6,90	1762,31
	NE	0,24		5,80	1792,54
	E	-0,10		4,08	1764,70
	SE	-0,40		2,92	1705,85
	S	-0,19		3,51	1663,30
	SW	-0,33		2,50	1365,77
odległość od wód powierzchniowych (distance from watercourses and reservoirs)	W	-0,82	4,13%	1,44	1283,52
	NW	0,40		5,24	1381,10
	0–50 m	0,84		6,38	1080,20
	50,1–100 m	0,69		5,52	1090,28
	100,1–150 m	0,13		3,39	1170,74
	150,1–200 m	-0,59		1,67	1185,61
	200,1–250 m	-0,91		1,17	1144,29
	250,1–300 m	-0,23		2,13	1055,88
użytkowanie terenu (land-use classes)	300,1–350 m	-0,57	2,49%	1,40	965,65
	350,1–400 m	-0,82		0,95	845,33
	>400,1 m	-0,08		9,78	4183,28
	tereny rolnicze, półnaturalne, podmokłe	-0,21		8,52	4141,42
	zabudowa miejska	-0,47		3,13	1960,95
	tereny przemysłowe, publiczne, wojskowe i prywatne	-1,85		0,40	1003,82
	las (forests)	0,68		19,09	3787,58
	kopalnie, wyrobiska, miejsca zabudowy	-3,01		0,05	378,17
	Infrastruktura drogowa i kolejowa	-2,22		0,15	549,64
	obszary zielone	0,55		0,96	219,11
obiekty sportowe i tereny wypoczynkowe	-2,91	0,08	594,13		
zbiorniki wodne	-7,84	0,00	90,18		

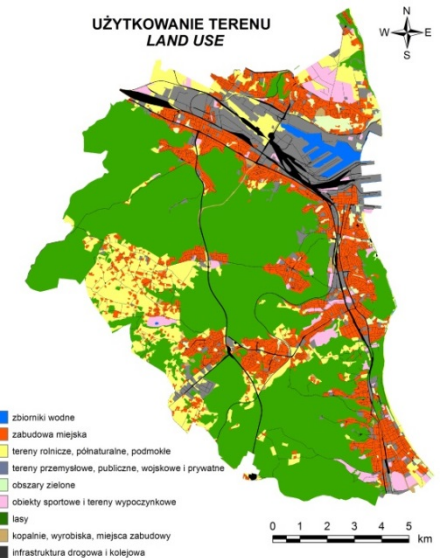
DANE WEJŚCIOWE (CZYNNIKI PASYWNE) UŻYTE W ANALIZIE WTÓRNEJ DLA GDYNI I SOPOTU

Obliczone przy pomocy metody indeksowej wagi poszczególnych czynników pasywnych dla miasta Gdańska zostały ekstrapolowane na sąsiednie powiaty Gdynię i Sopot, które charakteryzują się podobną budową geologiczną oraz analogicznymi uwarunkowaniami geomorfologicznymi.

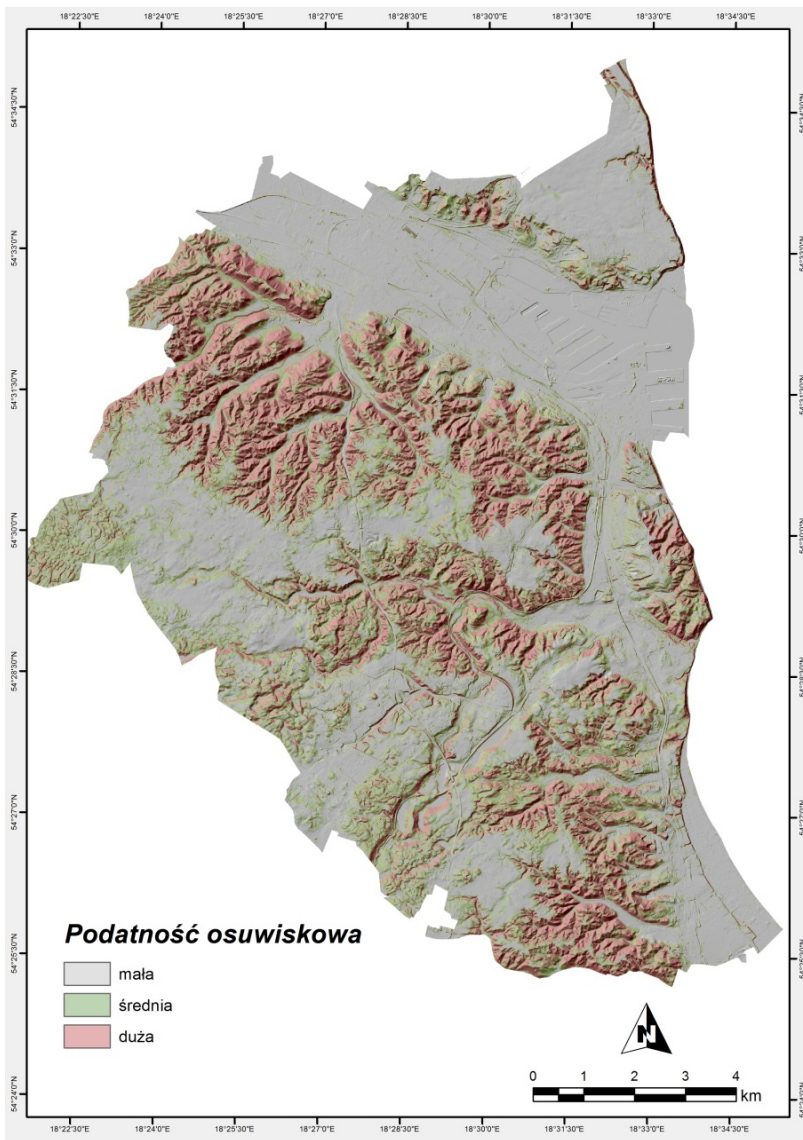


DANE WEJŚCIOWE

W celu przeprowadzenia analizy przestrzennej wykorzystano: dane wysokościowe z lotniczego skaningu laserowego z projektu **ISOK (NMT)**, bazę danych obiektów topograficznych (**BDOT**), mapy gruntów na głębokości 1,0 i 4,0 m. p.p.t. oraz mapę głębokości pierwszego zwierciadła wód podziemnych z „**Atlasu geologiczno-inżynierskiego Aglomeracji Trójmiejskiej**”, bazę danych „**Urban Atlas**” pozyskaną z Europejskiej Agencji Środowiska (EEA) a także Mapę osuwisk i terenów zagrożonych (MOTZ) dla powiatu Gdańsk. W celu opracowania mapy podatności Gdyni i Sopotu wykonano analogiczne mapy cząstkowe jak w przypadku Gdańska. Po wykonaniu wielokrotnych iteracji przy udziale poszczególnych czynników biernych, w końcowej mapie podatności zastosowywano 5 map cząstkowych.



MAPA PODATNOŚCI OSUWISKOWEJ GDYNI I SOPOTU



Mapa podatności osuwiskowej została zweryfikowana przy pomocy osuwisk, które zostały udokumentowane w trakcie terenowych prac kartograficznych w 2012 r. Wykonano wówczas niekompletną mapę osuwisk, bo jedynie dla obszaru stanowiącego jedynie ok. 12% powierzchni gminy Gdynia. Pozyskane w trakcie zdjęcia geologicznego dane mogły zostać użyte w weryfikacji, ale za względu na ich niekompletność i dlatego, że nie spełniają one zasady reprezentatywności statystycznej nie mogły być bezpośrednio wykorzystane w analizie.

Wyniki walidacji przy pomocy osuwisk udokumentowanych na obszarze Gdyni w 2012 r.

Podatność	ilość pikseli z osuwiskami	udział % powierzchni
mała	470	3,3
średnia	2166	15,1
duża	11728	81,6

81,6% powierzchni osuwisk użytych do walidacji danych przypada na obszary o podatności dużej

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej uzyskano przestrzenny rozkład obszarów predysponowanych do występowania osuwisk na obszarze miasta Gdyni i Sopotu.

- **Dane LIDAR** umożliwiają dokładne obliczenie – **pierwotnych** (nachylenie, ekspozycja, kształt stoku, deniwelacje) i **wtórnych atrybutów topograficznych** (indeks TWI, SPI, współczynnik LS), które mogą być wykorzystane w analizach podatności. Topograficzny indeks wilgotności (TWI) i indeks siły spływu (SPI) dobrze nadają się do modelowania osuwisk, w których dominującym ruchem masowym jest spływanie.
- Większość osuwisk występujących w Trójmieście to małe, płytkie osuwiska gruntowe, występujące pojedynczo. Wyjątek stanowią osuwiska na brzegach klifowych powstające w wyniku hydrodynamicznej działalności transgredującego Bałtyku tworzące zespoły osuwisk i zajmujące duże powierzchnie (>1 ha).
- Największe znaczenie w powstawaniu osuwisk w Trójmieście mają **czynniki geomorfologiczne i procesy geologiczne: abrazja, erozja powierzchniowa oraz splukiwanie** powodujące rozluźnienie i zmianę struktury gruntu.
- Przeprowadzone badania wykazały zwiększoną podatność na osuwanie stoków wklęsłych, o nachyleniach **10–29°** i ekspozycjach **N, NW i NE** (na stokach północnych dłużej zalega śnieg i dochodzi do zwiększonej infiltracji wód opadowych i roztopowych). Bardziej predysponowane do ruchów masowych są stoki wykształcone w osadach wykazujących w profilu pionowym **zróznicowanie litologiczne** oraz cechujących się obecnością przewarstwień w postaci **piasków pyłowatych, pyłów i ilów** (utwory podatne na rozmywanie). Znaczna część osuwisk powstała także na gruntach spoistych (glinach zwałowych) przykrytych gruntami niespoistymi (piaskami i żwirami). Taka budowa geologiczna sprzyja infiltracji wód opadowych i inicjowaniu powierzchni poślizgu. Czynniki silnie determinującymi procesy osuwiskowe w Gdańsku są **uwarunkowania hydrologiczne**: płytkie zaleganie wód gruntowych (1–2 m), bliskie położenie (0–50 m) wód powierzchniowych (duża rola erozji rzecznej i funkcji drenażu) oraz zwiększone wartości wskaźnika uwilgotnienia podłoża (TWI).

- Większość powierzchni osuwiskowych w Gdańsku **powstaje przy większych nachyleniach niż osuwiska w Karpatach** (10–29°). W miarę wzrostu nachyleń stoków wzrastają wartości współczynnika podatności osuwiskowej. Są to wyniki odmienne od rezultatów podobnych analiz GIS wykonanych w Karpatach, gdzie przykładowo w Beskidzie Niskim największą podatność obserwowano na stokach o nachyleniu 9–14°, natomiast przy większych nachyleniach współczynnik lnW_i wyraźnie maleje (Długosz, 2011). Przyczyną może być odmienna budowa geologiczna, ponieważ w obszarach młodoglacjalnych mamy do czynienia m.in. ze spoistymi glinami zwałowymi. Tworzą one niekiedy strome stoki, szczególnie na klifach, które osiągają czasmi nachylenia $>80^\circ$ a wśród ruchów masowych dominują obrywy.
- W przypadku **Gdańska**, dla którego zostało przeprowadzone kompletne kartowanie geologiczne, najlepsze wyniki modelowania uzyskano przy uwzględnieniu dużej ilości (11) czynników biernych. Natomiast dla pozostałych miast aglomeracji Trójmiejskiej (**Sopotu i Gdyni**), dla których ekstrapolowano wartości współczynnika podatności z Gdańska, najlepsze wyniki uzyskano przy uwzględnieniu kilku (5) wybranych czynników biernych. Można to powiązać z dużą rolą abrazji morskiej w powstawaniu osuwisk na klifach Kępy Oksywskiej i Kępy Redłowskiej (większe nachylenia i deniwelacje).
- Nie wszystkie czynniki bierne mające wpływ na powstawanie ruchów masowych mogą być zwizualizowane w postaci map tematycznych, w przypadku obszarów młodoglacjalnych trudności sprawia glacitektonika i obecność wód zawieszonych, które mają istotne znaczenie w powstawaniu osuwisk.

LITERATURA

DŁUGOSZ M., 2011 – Podatność stoków na osuwanie w polskich Karpatach Fliszowych. *Prac. Geogr. IGIPZ PAN*, 230: 1-112

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.

GRABOWSKI D. 2008 – System Osłony Przeciwosuwiskowej SOPO. *Prz. Geol.*, 56 (7): 537–538.

JURYS L., FRYDEL J., KAULBAR SZ D., MAŁKA A., PAĆZEK U., SZARAFIN T., WOŹNIAK T., ZALESZKIEWICZ L., 2011 – Rejestr osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi dla terenu miasta Gdańska. <http://geoportal.pgi.gov.pl/sopo-qview/objpdf?f=388>

JURYS L., MAŁKA A., PAĆZEK U., SZARAFIN T., 2012 – Rejestr osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi ziemi dla terenu miasta Gdyni. CAG OGM, PIG – PIB, Gdańsk.

JURYS L., UŚCINOWICZ G., MAŁKA A., SZARAFIN T., ZALESZKIEWICZ L., PAĆZEK U., FRYDEL J., KAWĘCKA J. & PRZEZDZIECKI P., 2013 – Identyfikacja zagrożeń wywołanych ruchami masowymi w przestrzeni zurbanizowanej na przykładzie map osuwisk Gdańska i Gdyni. *Gór. Odkryw.*, 2–3:116–126.

KAMIŃSKI M., 2006 – Analiza GIS osuwisk dla wybranego obszaru Pogórza Dynowskiego. *Arch. Fotogr., Kartogr. Teledet.*, 16: 279–287

KAMIŃSKI M., 2007 – Mapa podatności osuwiskowej – studium z regionu Jodłówki (Pogórze Dynowskie). *Przegląd Geologiczny*, 55, 9: 779–784

KAMIŃSKI M., 2012 – Mapa podatności osuwiskowej w skali regionalnej – przykład z Doliny Sanu na Pogórzu Dynowskim. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 452: 109–118. PIG – PIB. Warszawa

LINDNER H., 2011 – Rutschungen in Mitteleuropa. Ursachen, Verbreitung und Gefahrenabwehr. GRIN Verlag. Norderstedt.

MAŁKA A. 2015 – Modelowanie podatności osuwiskowej z zastosowaniem metody indeksowej i wysokorozdzielczych danych z lotniczego skaningu laserowego (LIDAR) na obszarze Gdańska. *Przegląd Geologiczny*, vol. 63. nr 5. Warszawa.

MOJSKI J.E., 1979a – Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Gdańsk (27) wraz z objaśnieniami. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.

MOJSKI J.E., 1979b – Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Gdynia (55). Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.

KONDRACKI J., 2011 – Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.

MROZEK T., 2008 — Ocena zagrożenia osuwiskowego i związanego z nim ryzyka przy wykorzystaniu metod GIS na przykładzie okolic Szymbarku, Beskid Niski. [pr. doktor.]. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Oddz. Karpacki, Kraków.

MROZEK T., 2013 — Zagrożenie i ryzyko osuwiskowe w rejonie Szymbarku (Beskid niski). W: *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*. T. 199. PIG – PIB. Warszawa

LEŚNIAKT., CZUJ-GÓRNI AK M., 2004 – Karty dokumentacyjne osuwisk (<http://www.geozagrozenia.agh.edu.pl>)

KUHN A., MIŁOSZEWSKA W. (red.), 1971 – Katalog osuwisk województwo gdańskie. Instytut Geologiczny, Zakład Geologii Inżynierskiej. CAG PIG – PIB. Warszawa.

POURGHASEMI H. R., MOHAMMADY M., PRADHAN B., 2012 – Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. In: *Catena* 97, 71–83.

VAN WESTEN C.J., RANWERS N., TERLIN M.T.J., SOETERS R., 1997 – Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation, *Geologische Rundschau* 86, Springer-Verlag, s. 404–414.

VAN WESTEN C.J., SEIJMONSBERGEN A.C., MANTOVANI F., 1999 – Comparing landslide hazard maps, *Natural Hazards*, 20, s. 137–158.

VAN WESTEN C.J., 2000 – The modelling of landslide hazard using GIS. *Surveys in Geophysics* 21: 241–255.



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ