

## **ANALIZA GIS OSUWISK DLA WYBRANEGO OBSZARU POGÓRZA DYNOWSKIEGO**

### **LANDSLIDE GIS ANALYSIS FOR A SELECTED AREA OF THE DYNOWSKIE FORELAND**

**Mirosław Kamiński**

Zakład Kartografii Geologicznej, Państwowy Instytut Geologiczny w Warszawie

**SŁOWA KLUCZOWE:** osuwiska, jednostka skolska, zdjęcia lotnicze, model cyfrowy terenu

**STRESZCZENIE:** Osuwiska należą do naturalnych zagrożeń geodynamicznych, powodujących zagrożenie środowiska naturalnego i przynoszące znaczne straty ekonomiczne w wielu regionach świata. W artykule przedstawiono zastosowanie teledetekcji, fotogrametrii i modeli cyfrowych terenu do badania osuwisk. Pogórze Dynowskie jest najslabiej rozpoznane pod kątem występowania osuwisk w polskich Karpatach fliszowych. Problem ten był omawiany w nielicznych opracowaniach naukowych ( Wdowiarz, 1946; Pękała, 1965). Obszar badań jest położony w obrębie jednostki skolskiej. Jest ona w tym regionie Pogórze Dynowskiego zbudowana z warstw inoceramowych, łupków pstrych, warstw hieroglifowych i menilitowych oraz warstw krośnieńskich. Całkowita powierzchnia zajęta przez osuwiska wynosi 1667.41 ha, co stanowi około 18 % całego obszaru badań. Na całym badanym obszarze, zarejestrowano 248 osuwisk. Na omawianym obszarze najwięcej osuwisk zarejestrowano w klasie wielkości do 5 ha. Stanowią one około 56 % wszystkich osuwisk. Najmniej osuwisk występuje w klasie powyżej 40 ha. Analiza przestrzenna GIS wykazała, że najczęściej osuwiska występują przy nachyleniach między 7° a 10° oraz przy NE ekspozycji terenu. W celach porównawczych obliczono wskaźniki osuwiskowości dla osuwisk rozwiniętych na jednej serii skalnej, jak i na kilku seriach skalnych. Najczęściej osuwiska występują w obrębie warstw inoceramowych oraz między warstwami inoceramowymi i łupkami pstrymi. W zależności od rozciągłości warstw geologicznych wyróżniono pięć typów osuwisk. Najwięcej zarejestrowano osuwisk subsekwentnych. Jest to prawdopodobnie związane z budową skibową obszaru badań.

#### **1. WSTĘP**

W wielu gminach i powiatach położonych na obszarze Pogórze Dynowskiego nie ma aktualnych danych na temat rozmieszczenia osuwisk. Informacje takie są istotne do planowania przestrzennego a także do zapobiegania katastrofom wywołanym osuwiskami. Do powstawania lub uaktywniania się wielu osuwisk na omawianym obszarze przyczyniły się katastrofalne opady deszczu w lipcu 1997 roku, wiosną 2000 roku oraz w lipcu 2001 roku a także na przełomie lipca i sierpnia w 2004 roku. Również duże opady mokrego śniegu, długo zalegającego wiosną 2001 roku uruchomiły osuwiska. Spowodowało to liczne zagrożenia dla budynków mieszkalnych, uszkodzenia sieci dróg i wodociągów oraz linii telefonicznych, energetycznych a także kolejowych.

## 2. OBSZAR BADAŃ

Pogórze Dynowskie sąsiaduje od północy z Przedgórzem Rzeszowskim, od południa z Kotliną Jasielsko-Krośnieńską i śródkarpackim Pogórzem Bukowskim (Konradcki, 2002). Stoki wzniesień Pogorza Dynowskiego rozcięte są przez liczną sieć potoków.

Ich obszary źródłowe są zwykle nieckowate i przechodzą niżej w V-kształtne doliny wciosowe. Erozja wsteczna wzmagająca się w czasie ekstremalnych opadów jest tutaj przyczyną tworzenia się obszarów osuwiskowych. Dolne odcinki potoków posiadają wąskie, płaskie dna akumulacyjne. Głębokość rozcięć dolinnych dochodzi do 25÷100 m. Stoki wzgórz są najczęściej wypukłe lub proste, o stosunkowo łagodnym nachyleniu dochodzącym maksymalnie do 20°. Są one silnie przemodelowane przez osuwiska. Obszary osuwiskowe posiadają nieregularną powierzchnię składającą się z pagórów, bezodpływowych zagłębień oraz progów o kilkumetrowej wysokości.

Do szczegółowego opracowania wybrano obszar o powierzchni 93.4 km<sup>2</sup>. Podłoże osuwisk stanowią tu utwory jednostki skolskiej, która charakteryzuje się na tym obszarze budową skibowo – fałdową lub fałdowo – skibową z dużym udziałem tektoniki nieciągłej (Wdowiarz, 1948; Gucik, 1987).

## 3. DANE WEJŚCIOWE

Pogórze Dynowskie sąsiaduje od północy z Przedgórzem Rzeszowskim, od południa z Kotliną Jasielsko-Krośnieńską i śródkarpackim Pogórzem Bukowskim (Konradcki, 2002).

W opracowaniu użyto materiałów teledetekcyjnych i kartograficznych. Wykorzystano zdjęcia satelitarne:

- Landsat 7 ETM+ z 20.06.2001 r. (15 m),
- IRS z 1999 r. (5.8 m).

Zdjęcia lotnicze wykorzystane w opracowaniu zakupiono w Centralnym Ośrodku Dokumentacji Kartograficznej i Geodezyjnej w Warszawie. Pochodzą one z 2002 r. (skala 1:13 000). Zostały zeskanowane z rozdzielczością 2 400 dpi.

Wykorzystano materiały kartograficzne w postaci papierowej i cyfrowej. Materiały „papierowe” były skanowane i rektyfikowane w układzie 1992 i zapisywane w formacie TIFF a następnie wektoryzowane i zapisywane w formacie SHP.

Dane cyfrowe wykorzystane w pracy były dostępne w formie wektorowej w formacie SHP oraz rastrowej zapisanej w formacie TIFF. Wykorzystane materiały w formie „tradycyjnej” to:

- szczegółowa mapa geologiczna w skali 1:50 000 ark. Kańczuga,
- mapy topograficzne w skali 1:25 000 i w skali 1:10 000.

Podstawowym materiałem źródłowym o osuwiskach archiwalnych stało się opracowanie „Analiza zjawisk osuwiskowych na terenie województwa podkarpackiego”, wykonane dla Podkarpackiego Urzędu Wojewódzkiego w Rzeszowie. Zostało ono zrealizowane przez Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią z Krakowa.

Wykorzystane materiały w formie cyfrowej to:

- podkłady topograficzne w skali 1:50 000, trzy warstwy rastrowe: sytuacja, hipsometria, hydrografia,
- zdjęcia lotnicze w skali 1:13 000 zeskanowane z rozdzielczością 2 400 dpi,
- model cyfrowy terenu level 2 w formacie DTED – CAG PIG,
- dwa fotogrametryczne modele cyfrowe terenu wykonane w formie rysunku wektorowego.

Modele cyfrowe terenu zostały wykonane ze stereo par zdjęć lotniczych w skali 1:13 000 z 2002 roku. Zostały one zaimportowane do programu ArcView i w module 3D Analyst przekształcone w triangulacyjne modele cyfrowe terenu TIN.

Wszystkie pozyskane dane teledetekcyjne i kartograficzne skalibrowano do układu 1992 i zintegrowano w systemie informacji przestrzennej GIS.

#### 4. METODY

Pod kątem rozmieszczenia osuwisk przeanalizowano materiały teledetekcyjne: scenę satelitarną panchromatyczną IRS (5.8 m) oraz zeskanowane z rozdzielczością 2 400 dpi zdjęcia lotnicze w skali 1:13 000.

W wersji cyfrowej na zdjęciu można było lokalizować obiekty z dokładnością 0.5 m. Zdjęcie satelitarne Landsat 7 Etm+ okazało się mało dokładne do rozpoznawania osuwisk.

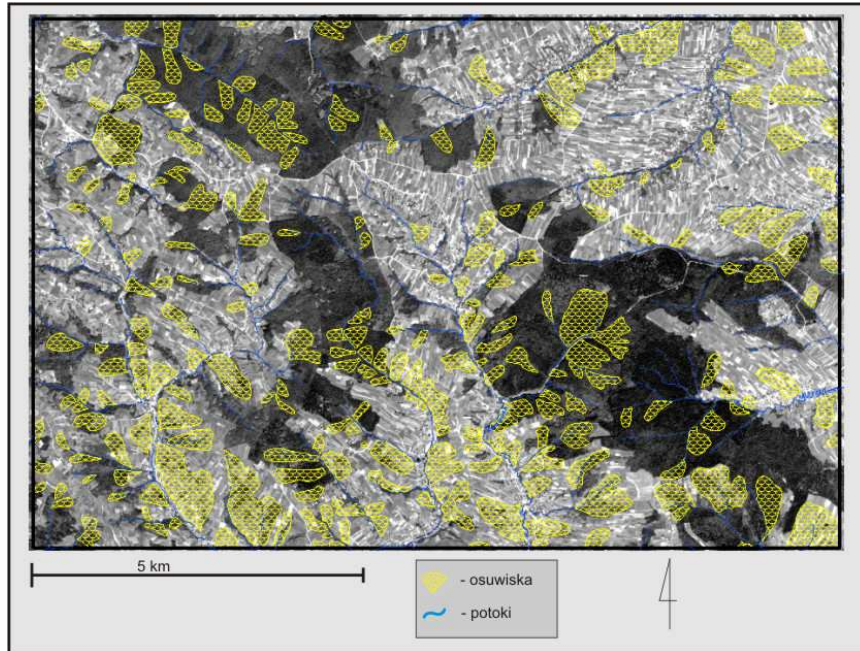
W programie Er Mapper 7.0 przeprowadzono wstępną fotointerpretację sceny satelitarnej IRS oraz zdjęć lotniczych. Przy fotointerpretacji osuwisk zwracano uwagę na:

- ostro załamujące się linie w obrębie skarp i krawędzi; mogą być one potraktowane jako widoczny wskaźnik ruchu osuwiska, chociaż ich obecność może być maskowana przez roślinność w początkowym etapie powstawania osuwiska;
- nierówne, pagórkowate powierzchnie terenu tworzące się pod skarpami;
- bezodpływowe depresje wzdłuż grzbietów i podnóża skarp, wskazują one na obecność źródeł lub wysięków;
- różnice w fotofonach a szczególnie na jasne fototony wzdłuż górnej krawędzi wzgórza lub skarpy;
- zmiana fotofonów wzdłuż górnej krawędzi wzgórza lub obwałowań rzek i potoków; mogą one sugerować podwyższenie wilgotności w podłożu;
- rumowiska i zwietrzeliny akumulowane w dolinach i potokach.

Identyfikację obszarów osuwiskowych przeprowadzono również stosując różne kąty oświetlenia fotogrametrycznych modeli cyfrowych terenu oraz modelu DTED Level 2.

Przy czym warto zaznaczyć, że model cyfrowy DTED okazał się pomocny jedynie przy identyfikacji dużych osuwisk o wyraźnie wykształconych niszach osuwiskowych. Analizę przeprowadzono w oprogramowaniu ArcView stosując moduł 3D Analyst. Stosując technikę oświetlenia cyfrowego modelu terenu pod różnymi kątami oraz oglądania z wielu punktów widzenia, można dostrzec wiele szczegółów morfologicznych, świadczących o istnieniu osuwisk, np. nisze osuwisk.

Otrzymane wyniki weryfikowano w terenie w trakcie kartowania osuwisk. Wyniki prac zaprezentowano w postaci mapy osuwisk dla wybranego obszaru Pogórza Dynowskiego (rys. 1).



Rys. 1. Rozmieszczenie osuwisk na tle zdjęcia satelitarnego IRS

## 5. ROZMIESZCZENIE OSUWISK

Na badanym terenie Pogórza Dynowskiego osuwiska grupują się w pasie wzdłuż doliny Sanu (od Nienadowej, poprzez Śliwnicę aż do Drohobyczki), a także w rejonie Huciska Jawornickiego oraz w okolicy miejscowości Jodłówka i Świebodna. Wyróżniono osuwiska rozwinięte w skałach podłoża i w pokrywie czwartorzędowej oraz płytsze występujące tylko w obrębie pokrywy czwartorzędowej. Doliny potoków w północno - wschodniej części obszaru badań wykazują przebieg o kierunkach NE-SW, zaś pozostała część obszaru wykazuje kierunki przebiegu dolin NW-SE. Osuwiska na badanym terenie układają się w strefy o kierunkach wyżej wymienionych, czyli ich rozmieszczenie pozostaje w związku z budową geologiczną podłoża.

Używając oprogramowania ArcView Spatial Analyst obliczono procentową liczbę osuwisk w poszczególnych klasach wielkości powierzchni osuwisk. Wyróżniono 5 klas wielkości osuwisk. Używając kalkulatora map obliczono liczby osuwisk np. w klasie 0-5ha. Wszystkie osuwiska spełniające ten warunek wyświetliły się na ekranie, np. na kolor żółty.

Tabela 1. Procentowa liczba osuwisk w poszczególnych klasach wielkości powierzchni osuwisk

Klasy powierzchni osuwisk w [ha]	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60
Liczba osuwisk w %	56.85	24.50	14.12	3.23	1.20

Zestawienie procentowe liczby występowania osuwisk w poszczególnych klasach wielkości powierzchni osuwisk przedstawiono w tabeli 1. Najwięcej osuwisk zarejestrowano w klasie wielkości do 5 ha. Stanowią one około 56 % wszystkich osuwisk. Najmniej osuwisk występuje w klasie powyżej 40 ha. Są to najczęściej zespoły osuwisk połączonych wspólnymi niszami i schodzące wspólnie w dół stoku.

Na badanym obszarze stwierdzono liczne czynne osuwiska. Charakteryzują się one wyraźnie wykształconą niszą oraz niszami wtórnymi występującymi w obszarze oderwania, zaś w strefie akumulacji posiadają liczne szczeliny (podłużne i poprzeczne) a także zagłębienia bezodpływowe. Niektóre z tych osuwisk zostały wcześniej rozpoznane przez Wdowiarza (1948) w okolicy Śliwnicy, Drohobyczki i Huciska Jawornickiego. Są to zespoły mniejszych osuwisk w większości przypadków połączonych ze sobą niszami.

Osuwiska na omawianym obszarze zajmują łącznie 1667.41 ha. Obliczony zaś wskaźnik osuwiskowości wynosi, około 18 %, co świadczy, że badany teren jest bardzo zagrożony przez osuwiska. W sumie zarejestrowano 248 osuwisk.

Wyróżniono osuwiska stokowo-zboczowe (rozpoczynają się na stoku i schodzą do den dolinnych) oraz w leju źródłowym. Stwierdzono, że najliczniejszą grupę stanowią osuwiska stokowo-zboczowe zarówno pod względem liczebności jak i zajmowanej powierzchni tabela 2. Stanowią one 81.85 % liczebności wszystkich badanych osuwisk zajmują 82.23 % powierzchni wszystkich osuwisk i obejmują one 1372 ha powierzchni stoków.

Najliczniej występujące osuwiska stokowo – zboczowe zaczynają się w górnych częściach stoków i następnie rozwijają się w kierunku den dolinnych. Są to najczęściej osuwiska pokrywowo-strukturalne. Wykorzystując ArcView Spatial Analyst, wykonano modelowanie GIS, którego efektem było określenie, przy jakich wartościach spadków terenu oraz ekspozycji najczęściej się rozwijają osuwiska. Mapę spadków terenu opracowano na podstawie modelu cyfrowego terenu DTED poziom 2. Okazało się, że dla badanego obszaru największa liczba osuwisk (47.9 %) utworzyła się przy nachyleniach terenu w przedziale między 7° i 10° oraz między 11° a 14° (33.06 %). Przy nachyleniach terenu między 15° i 17° zanotowano najmniej osuwisk (6.04 %).

Otrzymane rezultaty porównano z danymi otrzymanymi przez Wójcika i Zimnala (1996) dla osuwisk położonych wzdłuż doliny Sanu. Wymienieni autorzy otrzymali podobne wyniki, gdyż najczęściej osuwisk stwierdzili przy nachyleniach między 7° i 10° oraz między 11° i 14°. Analogiczne wyniki otrzymał również Graniczny (Graniczny *et al.*, 2001) dla osuwisk położonych w rejonie Gorlic i Szymbarku.

Na badanym obszarze Pogórza Dynowskiego istnieje wyraźny związek między ekspozycją stoków a rozmieszczeniem uskoków. Do analiz przestrzennych również

zastosowano model cyfrowy terenu DTED level 2. Stwierdzono, że najwięcej osuwisk występuje na stokach przy ekspozycji NE, NW i SW.

## 6. ZWIĄZEK MIĘDZY ROZMIESZCZENIEM OSUWISK A BUDOWĄ GEOLOGICZNĄ

Rozwój osuwisk jest związany z wykształceniem litologicznym sekwencji skalnych podłoża oraz miąższością pokryw czwartorzędowych. Duży wpływ na powstanie osuwisk wywierają nasunięcia, uskoki, spękania oraz kąt zapadania warstw skalnych a także morfologia terenu. Według Bobera, 1984 wskaźnik osuwiskowości powierzchniowej dla badanego obszaru jednostki skolskiej jest bardzo mały i wynosi 1.74 %. Badania autora wykazały, że wskaźnik osuwiskowości powierzchniowej jest znacznie wyższy niż wcześniej przyjmowano i wynosi 17.8 %. Duża różnica pomiędzy wartościami obu wskaźników jest rezultatem lepszego rozpoznania występowania osuwisk w tym rejonie Pogórza Dynowskiego.

Obserwując rozmieszczenie osuwisk na mapie geologicznej podłoża możemy podzielić je na dwie grupy w zależności od podłoża, na którym się rozwinęły. Do pierwszej grupy należą osuwiska rozwinięte na jednym zespole litostratygraficznym a do drugiej osuwiska wykształcone na więcej niż jednym zespole litostratygraficznym. Inicjacja procesu osuwania się rozpoczyna się w jednym zespole litostartygraficznym a odspojenia następują w następnych zespołach skalnych.

Analizy statystyczne zależności występowanie osuwisk w zależności od litologii podłoża przeprowadzono przy pomocy kalkulatora map w ArcView Spatial Analyst GIS. Wyróżniono osuwiska rozwinięte na jednej serii skalnej, na dwu seriach skalnych i więcej niż na dwu seriach skalnych. Na jednej sekwencji skalnej największą ich liczbę 63.7 % stwierdzono na warstwach inoceramowych. Drugie pod względem liczebności występowania osuwisk są warstwy krośnieńskie (8.07 %).

Wśród osuwisk rozwiniętych na dwu seriach skalnych tabela 2, najwięcej osuwisk się rozwinęło na warstwach inoceramowych i łupkach pstrych (7.66 %). Na więcej niż dwu seriach skalnych najliczniej występują osuwiska na warstwach inoceramowych, warstwach hieroglifowych i łupkach pstrych (2.82 %).

Dla celów porównawczych a także do określenia związków między rozwojem osuwisk a budową geologiczną badanego obszaru Pogórza Dynowskiego, obliczono wskaźnik określany przez Bobera, 1984 wskaźnikiem osuwiskowości powierzchniowej. Jest on definiowany według wzoru:

$$O_p = \frac{P_o}{P_t} * 100\% \quad (1)$$

gdzie:  $O_p$  - wskaźnik osuwiskowości,  
 $P_o$  - powierzchnia osuwisk,  
 $P_t$  - powierzchnia terenu.

Obliczono oddzielnie wskaźnik dla osuwisk rozwiniętych tylko na jednej serii skalnej i drugi dla całkowitej powierzchni osuwisk rozwiniętych na kilku seriach skalnych.

Tabela 2. Procentowy wskaźnik osuwiskowości

Litostratygrafia	Wskaźnik osuwiskowości powierzchniowej w %	
	dla osuwisk rozwiniętych na jednej sekwencji litologicznej	dla osuwisk rozwiniętych na kilku sekwencjach litologicznych
Warstwy krośnieńskie	9.40	10.89
Warstwy menilitowe	1.26	15.21
Warstwy hieroglifowe	-	8.38
Łupki pstre	-	22.61
Warstwy inoceramowe	14.50	18.07
Margle bakulitowe (z Węgierki)	4.62	17.41

Biorąc pod uwagę osuwiska rozwinięte na jednej sekwencji litologicznej (największą wartość wskaźnika osuwiskowości wykazują warstwy inoceramowe (14.5 %)). Jest to spowodowane tym, że na warstwach inoceramowych występuje największa liczba osuwisk (63.7 %) i zajmują one na nich większe powierzchnie (58.32 %) niż na pozostałych sekwencjach litologicznych. Dużą liczbę osuwisk rozwiniętych na warstwach inoceramowych, należy tłumaczyć znacznym rozprzestrzenieniem się tej serii skalnej na obszarze badań przy sprzyjających spadkach terenu, litologii i stref nieciągłości. W przypadku osuwisk rozwiniętych na kilku sekwencjach litologicznych (tabela 2) zdecydowanie największe wartości wskaźników osuwiskowości zanotowano dla łupków pstrych (22.61 %), warstw hieroglifowych (18.38 %) i warstw inoceramowych (18.07 %).

Analizując obliczone wartości wskaźnika osuwiskowości oraz opierając się na wcześniejszej tezie Bobera, 1984 i potwierdzonej przez Wójcika i Zimnała, 1996, stwierdzono, że najbardziej sprzyjające warunki do powstawania koluwiów osuwiskowych występują w strefach kontaktów warstw inoceramowych i łupków pstrych. Istnieje ścisły związek między wykształceniem litologicznym zespołów litologicznych a rozwojem osuwisk. Obserwujemy wzrost wartości wskaźnika osuwiskowości dla całkowitej powierzchni osuwisk na kilku seriach skalnych, np. dla łupków pstrych, warstw menilitowych i krośnieńskich.

Biorąc pod uwagę ruch osuwiska w stosunku do przestrzennej orientacji struktur geologicznych (biegu i upadu) wyróżniamy osuwiska konsekwentne, insekwentne, subsekwentne i złożone (podłoże osuwiska zaburzone tektonicznie) (Kleczkowski, 1955).

W większości przypadków pod względem liczebności (49.59 %) są to osuwiska subsekwentne, powstające na wychodniach fliszu normalnego i łupkowego. Również duży udział w występowaniu na omawianym obszarze Pogórza Dynowskiego mają

osuwiska insekwentne (30.65 %) i konsekwentne (12.90 %). Powstają one najczęściej na wychodniach fliszu piaskowcowego. Opierając się na badaniach i danych otrzymanych przez Wójcika i Zimnała, 1996 dla osuwisk położonych wzdłuż doliny Sanu należy zauważyć, że tak duży udział osuwisk subsekwentnych jest związany ze skibową budową geologiczną. Osuwiska takie rozwijają się po rozciągłości warstw.

## 7. WNIOSKI

Dzięki zastosowanym metodom badawczym stwierdzono, że na badanym obszarze Pogórza Dynowskiego osuwiska zajmują większe powierzchnie (18 %), niż wcześniej podawano w literaturze (2.8 %) (Bober, 1984). Na całym badanym obszarze, zarejestrowano 248 osuwisk. Najwięcej osuwisk zarejestrowano w klasie wielkości do 5 ha. Stanowią one około 56 % wszystkich osuwisk. Najmniej osuwisk występuje w klasie powyżej 40 ha. Są to najczęściej zespoły osuwisk strukturalnych połączonych wspólnymi niszami i schodzące wspólnie w dół stoku.

Największą liczbę osuwisk (47.9 %) zarejestrowano w obszarach o przedziale między wartościami nachyleń  $7^{\circ}$  i  $10^{\circ}$  oraz między  $11^{\circ}$  i  $14^{\circ}$  (33.06 %). Przy nachyleniach terenu między  $15^{\circ}$  i  $17^{\circ}$  zanotowano najmniej osuwisk (6.04 %). Najwięcej osuwisk powstało na stokach o ekspozycjach NE, NW i SW, na których dłużej zalega śnieg, co powoduje większe nasycenie gruntu wodą roztopową a w rezultacie uplastycznieniu podłoża.

Na podstawie zbadania wskaźnika osuwiskowości stwierdzono, że najbardziej podatne na tworzenie się osuwisk są warstwy inoceramowe, łupki pstry oraz warstwy hieroglifowe. Stwierdzono wpływ budowy geologicznej na genezę i rozmieszczenie osuwisk. Wyróżniono dwie grupy osuwisk: pierwszą grupę stanowią osuwiska rozwinięte tylko na jednej sekwencji litologicznej a drugą grupę osuwiska rozwinięte na więcej niż jednym zespole litologicznym.

W większości przypadków pod względem liczebności (49.59 %) są to osuwiska subsekwentne, powstające na wychodniach fliszu normalnego i łupkowego.

## 8. LITERATURA

- Bober L., 1984. Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną regionu. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 340, s. 115-162.
- Graniczny M., *et al.*, 2001. Komputerowa analiza danych przestrzennych w aspekcie zagrożeń osuwiskowych. *Przegląd Geologiczny*, Vol. 49, nr 1.
- Gucik S., 1987. Objasnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000 ark. Krzywca (1026). *Wyd. Geolog.*, Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Kleczkowski A., 1955. Osuwiska i zjawiska pokrewne. *Wyd. Geolog.*, Warszawa.
- Kondracki J., 2002. *Geografia Polski. Mezoregiony fizyczno-geograficzne*. PWN.
- Wdowiarz J., 1948. Budowa geologiczna Karpat w okolicy Dubiecka i Krzywcy. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 10, s. 1-24.



Wójcik A., Zimnal Z., 1996. Osuwiska wzdłuż doliny Sanu między Bachórzcem a Reczpołem (Karpaty, Pogórze Karpackie). *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 374, s. 77-91.

## LANDSLIDE GIS ANALYSIS FOR A SELECTED AREA OF THE DYNOWSKIE FORELAND

KEY WORDS: landslides, the Skole unit, aerial photography, digital elevation model

### Summary

Landslides are one of the natural hazards which bring about significant environmental and socio-economical losses in many regions of the world. This is also the case in the Polish Flysch Carpathians, which are prone to mass movements. This paper discusses an application of remote sensing, photogrammetric techniques and digital elevation models in a GIS environment to detect landslide areas.

The Dynowkie Foreland is not usually associated with landslides, and this has only been discussed only in some papers (Wdowiarz, 1948; Gucik, 1987). The selected study of area is built of the sediments of the Skole unit. The Inoceramian Beds are dominant, being covered with Variegated Shales, Hieroglyphic Beds and a Menilite-Krosno series. The total surface of the landslides equals to 1667.41 ha which corresponds to 18 % of the whole territory. There are 248 landslides, with large slides dominating total area, while medium and small ones are dominant in quantity. Spatial Analysis showed that landslides are most frequent at angles of 7°-10°. The most frequent group of the landslides occurs on the slope NE exposition. Landslides developed on only one rock series, or on several ones, were distinguished in respect to the basement where the forms developed on the Inoceramian Beds predominate. For comparative aims, the factor of surface landsliding ability was calculated. The highest factor is that for the Variegated Shales and Inoceramian Beds. It results from the observation that the majority of the large surface landslides occur in zones of the Inoceramian Beds and variegated shales outcrops.

Five types of the landslides were distinguished in respect to geological structure. The subsequent landslides are dominant. This fact is probably connected with the overthrust fold structure of the area.

Dr Mirosław Kamiński  
e-mail: mirosław.kaminski@pgi.gov.pl  
tel. +22 8495351 w. 479