

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
im. Stanisława Leszczyckiego

MICHAŁ DŁUGOSZ

PODATNOŚĆ STOKÓW NA OSUWANIE
W POLSKICH KARPATACH FLISZOWYCH



Warszawa 2011

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
IM. STANISŁAWA LESZCZYCKIEGO

PRACE GEOGRAFICZNE NR 230

GEOGRAPHICAL STUDIES

No. 230

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY IN THE POLISH CARPATHIANS

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
IM. STANISŁAWA LESZCZYCKIEGO

PRACE GEOGRAFICZNE NR 230

MICHAŁ DŁUGOSZ

PODATNOŚĆ STOKÓW NA OSUWANIE
W POLSKICH KARPATACH FLISZOWYCH



WARSZAWA 2011

<http://rcin.org.pl>

KOMITET REDAKCYJNY

REDAKTOR: Grzegorz Węclawowicz
CZŁONKOWIE: Jerzy Grzeszczak, Barbara Krawczyk,
Jan Matuszkiewicz, Jerzy J. Parysek

RADA REDAKCYJNA

Bolesław Domański, Adam Kotarba, Jan Łoboda,
Andrzej Richling, Jan S. Kowalski, Andrzej Lisowski,
Eamonn Judge, Lydia Coudroy

RECENZENCI TOMU

Mirosław Błaszkiwicz, Kazimierz Krzemień

ADRES REDAKCJI PRAC GEOGRAFICZNYCH

IGiPZ PAN
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa

Opracowanie techniczne: Ewa Jankowska
Zdjęcie na okładce: Michał Długosz

© Copyright by Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN
im. Stanisława Leszczyckiego, Warszawa 2011

PL ISSN 0373-6547
ISBN 978-83-61590-20-0

Łamanie wykonano w IGiPZ PAN,
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa
Druk i oprawa: Drukarnia Klimiuk
ul. Zwierzyniecka 8A, 00-719 Warszawa

SPIS TREŚCI

I. WSTĘP	9
1.1. Zarys problemu badań	9
1.2. Cel badań	10
1.3. Stosowana terminologia	10
1.4. Obszar badań	12
1.5. Metoda badań	14
1.6. Stan badań	16
1.7. Podatność na osuwanie i zagrożenie osuwiskowe – główne kierunki badań	18
2. Uwarunkowania środowiskowe ruchów masowych w wybranych rejonach Karpát fliszowych	23
2.1. Beskid Niski	23
2.1.1. Budowa geologiczna	25
2.1.2. Główne elementy rzeźby	25
2.1.3. Wybrane elementy klimatu	26
2.1.4. Wody podziemne i powierzchniowe	27
2.1.5. Użytkowanie terenu	27
2.2. Pogórze Dynowskie	28
2.2.1. Budowa geologiczna	29
2.2.2. Główne elementy rzeźby	30
2.2.3. Wybrane elementy klimatu	32
2.2.4. Wody podziemne i powierzchniowe	32
2.2.5. Użytkowanie terenu	32
2.3. Podhale (Pogórze Gubałowskie)	33
2.3.1. Budowa geologiczna	34
2.3.2. Główne elementy rzeźby	35
2.3.3. Wybrane elementy klimatu	37
2.3.4. Wody podziemne i powierzchniowe	37
2.3.5. Użytkowanie terenu	37
2.4. Beskid Żywiecki (Żabnica)	38
2.4.1. Budowa geologiczna	39
2.4.2. Główne elementy rzeźby	40
2.4.3. Wybrane elementy klimatu	41
2.4.4. Wody podziemne i powierzchniowe	42
2.4.5. Użytkowanie terenu	42
3. Przekształcenia stoków przez ruchy masowe na wybranych obszarach Karpát fliszowych	45
3.1. Beskid Niski	45
3.2. Pogórze Dynowskie	49
3.3. Podhale (Pogórze Gubałowskie)	52
3.4. Beskid Żywiecki (Żabnica)	56

4. Ocena podatności na osuwanie	59
4.1. Ocena podatności na osuwanie w skali regionalnej	59
4.1.1. Dane przestrzenne użyte w analizie i zastosowana metoda	59
4.1.2. Mapa podatności na osuwanie polskich Karpat fliszowych	64
4.2. Ocena podatności na osuwanie w skali lokalnej	68
4.2.1. Dane przestrzenne użyte w analizie i zastosowana metoda	68
4.2.2. Mapy podatności na osuwanie wybranych obszarów badań – analiza.....	75
4.3. Weryfikacja wyników, dyskusja	84
5. Geologiczne i geomorfologiczne uwarunkowania ruchów masowych w Karpatach fliszowych	89
6. Zastosowanie map podatności osuwiskowej w planowaniu przestrzennym ..	99
7. Wnioski	103
Literatura	104
Landslide susceptibility in the Polish Carpathians – <i>Summary</i>	110

Składam serdeczne podziękowania mojemu Promotorowi,
Prof. dr hab. Adamowi Kotarbie,
za pomoc oraz cenne wskazówki podczas pisania pracy.
Moim Kolegom i Koleżankom z zakładu dziękuję
za krytyczne uwagi i merytoryczną dyskusję.
Pragnę szczególnie podziękować moim bliskim
za okazaną cierpliwość i wsparcie.

I. WSTĘP

1.1. ZARYS PROBLEMU BADAŃ

Ruchy masowe odgrywają olbrzymią rolę w kształtowaniu rzeźby obszarów górskich na całym świecie. Są to procesy stanowiące naturalne zagrożenie dla życia i działalności gospodarczej człowieka. Szczególne szkody powodują procesy osuwiskowe będące jednolitym ruchem mas skalnych, bądź zwietrzelinowych, wzdłuż wyraźnie określonej powierzchni ześlizgu (Kleczkowski 1955).

Osuwiska powszechnie występujące w Karpatach to problem dla lokalnej społeczności. Karpaty polskie stanowią jedynie 6% powierzchni kraju a blisko 90% wszystkich osuwisk zarejestrowanych w Polsce występuje właśnie w Karpatach. W badanym obszarze ich liczba oceniana jest na około 20 000, co stanowi blisko 20% powierzchni regionu (*Katalog osuwisk* 1975; Mrozek i in. 2000). Na podstawie liczby osuwisk występujących w polskiej części Karpat oraz czynników warunkujących ich powstawanie można stwierdzić, że Karpaty fliszowe są górami szczególnie podatnymi na ruchy osuwiskowe. Decydujące znaczenie ma tutaj typ rzeźby (głęboko wcięte doliny, nachylenia stoków), budowa geologiczna (kompleks skał fliszowych) oraz tektonika (bieg i upad warstw, dyslokacje tektoniczne, strefy uskoku), (Rączkowski, Mrozek 2002).

Z tych wszystkich względów niezwykle istotnym aspektem badań nad osuwiskami w polskich Karpat fliszowych jest określenie ryzyka osuwiskowego oraz sporządzenie dokładnych map podatności na osuwanie regionów najbardziej zagrożonych przez ruchy masowe. Badania tego typu w Polsce wciąż należą do rzadkości, natomiast w wielu krajach prace nad określeniem ryzyka osuwiskowego są bardzo zaawansowane i powszechne. Rozwojowi takich badań szczególnie sprzyja postęp technik komputerowych oraz zastosowanie systemów informacji geograficznej GIS. Duże zainteresowanie tym rodzajem badań oraz ich aplikacyjny charakter wpłynęły na rozwój zagadnień metodycznych, dzięki czemu możliwe jest odpowiednie dobranie metody badań oraz przystosowanie jej do warunków karpaccich.

1.2. CEL BADAŃ

Głównym celem pracy jest wskazanie obszarów najbardziej podatnych na ruchy osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych oraz określenie prawidłowości wyznaczania stoków predysponowanych do wystąpienia ruchów osuwiskowych. Do celów szczegółowych opracowania należą:

- zastosowanie metod GIS w celu sporządzenia map podatności na osuwanie w Karpatach fliszowych,
- wytypowanie obszarów najbardziej podatnych na ruchy osuwiskowe oraz przedstawienie ich przestrzennego zróżnicowania w Karpatach polskich,
- opracowanie mapy podatności na osuwanie dla wytypowanych obszarów polskich Karpat fliszowych,
- przedstawienie uwarunkowań rozwoju osuwisk w różnych rejonach Karpat

1.3. STOSOWANA TERMINOLOGIA

Na świecie istnieje wiele klasyfikacji ruchów masowych. Są one bardzo zróżnicowane pod względem kryteriów, na których są oparte oraz ze względu na regiony dla których powstały (Balzer 1875; Howe 1909; Nemćok, Pasek 1972; Varnes 1978; Dikau i in. 1996). W literaturze polskiej również prezentowane są tego typu podziały (Kleczkowski 1955; Klimaszewski 1978; Bober 1984; Zabuski i in. 1999; Migoń 2006).

Duża liczba klasyfikacji ruchów masowych, ich różnorodność oraz zróżnicowanie kryteriów w oparciu o które są tworzone komplikuje opis i charakterystykę tego typu procesów. Wpływ na to ma wiele czynników. Podstawowym problemem jest różna interpretacja i nazewnictwo tych samych form przez różnych autorów. Często pod pojęciem „osuwisko” rozumie się nie tylko identyfikację formy, ale również opis procesu prowadzący do jej powstania (Mrozek 2008). Problem ten istnieje również w literaturze światowej, gdzie wielu autorów termin „landslide” stosuje w odniesieniu do całego wachlarza form, będących efektem różnego typu ruchów masowych (Glade 1998; Glade i in. 2000; Carrara i in. 1999).

Aby uniknąć pomyłek w nazewnictwie oraz nieściśłości terminologicznych, w niniejszym opracowaniu oparto się na klasyfikacji ruchów masowych D.J. Varnesa (1978). Podział ten używany jest przez Amerykańską Służbę Geologiczną i obejmuje 6 podstawowych wydzieleni, typów ruchów masowych: obrywy, obwały, poślizgi (zsuwy), rozsypy boczne, spływy oraz ruchy złożone (tab. 1). Cytowany autor, zsuwy dzieli na rotacyjne i translacyjne.

Tabela 1. Typy ruchów masowych

Rodzaje ruchu	Rodzaj materiału		
	Podłoże skalne	Grunty gruboziarniste	Grunty drobnoziarniste
Obrywy	Obryw skalny	Obryw rumoszu	Obryw ziemny
Obwały	Obwał skalny	Obwał rumoszu	Obwał ziemny
Poślizgi (zsuwy) rotacyjne, kilka jednostek długości	Obrót bryły skalnej	Obrót brył rumoszu	Obrót bryły ziemnej
Poślizgi (zsuwy) translacyjne, kilka jednostek długości	Poślizg (zsuw) bryły	Poślizg (zsuw) bryły	Poślizg (zsuw) bryły
Poślizgi (zsuwy) translacyjne, wiele jednostek długości	Poślizg (zsuw) zbrocza	Poślizg (zsuw) zbrocza	Poślizg (zsuw) zbrocza
Rozsypy boczne	Rozsyp masywu skalnego	Rozsyp rumoszu	Rozsyp materiału ziemnego
Spływy	Spływ skały (głębokie pełzanie)	Spływ rumoszu (pełzanie gruntu)	Spływ rumoszu (pełzanie ziemi)
Złożone	Kombinacja dwóch lub więcej typów ruchu		

Źródło: (Varnes 1978)

Podobne problemy, wynikające z różnorodności stosowanej terminologii napotykamy również w szeroko pojętej tematyce zagrożeń osuwiskowych. Funkcjonujące powszechnie pojęcia zagrożenie i ryzyko stosuje się także w odniesieniu do osuwisk. W mowie potocznej pojęcia te w dużym stopniu pokrywają się. Sytuacja taka ma miejsce również w literaturze fachowej zarówno polskiej jak i zagranicznej. Problem w nazewnictwie związany jest również z błędnym tłumaczeniem z języka angielskiego terminów „*hazard*” i „*risk*”. Pojęcia te często tłumaczone są podobnie, pomimo że odnoszą się do odrębnych zagadnień (Mrozek 2008).

Opracowanie to poświęcone jest zagadnieniu podatności na osuwanie. W celu poprawnego stosowania tego terminu i odróżnienia go od pojęć: zagrożenie i ryzyko osuwiskowe, zastosowano definicje zaproponowane przez D.J. Varnesa (1984). Terminy te z powodzeniem stosowane są przez szereg autorów zajmujących się tą tematyką (m.in. Van Westen 1994; Van Westen i in. 2003; Mrozek 2008).

Podatność na osuwanie (*susceptibility*) – oznacza możliwość wystąpienia ruchów osuwiskowych w danym obszarze ze względu na istniejące tam warunki środowiskowe (czynniki pasywne).

H – zagrożenie (*natural hazard*) – oznacza prawdopodobieństwo wystąpienia destruktywnego zjawiska w określonym miejscu i czasie.

V – wrażliwość (*vulnerability*) – jest to stopień strat określonego elementu podlegającego ryzyku, będących rezultatem wystąpienia destruktywnego zjawiska o określonej sile. Wyrażana jest liczbą z przedziału 0–1, gdzie 0 oznacza brak zniszczeń, a 1 całkowite zniszczenie.

E – element podlegający ryzyku (*element at risk*) – oznacza ludność, budynki, infrastrukturę i działalność gospodarczą w danym obszarze, która jest narażona na wystąpienie destruktywnego zdarzenia.

RS – ryzyko specyficzne (*specific risk*) – oznacza oczekiwaną wielkość strat w wyniku zajścia destruktywnego zjawiska (osuwiska) i może być wyrażone jako iloczyn $H \times V$

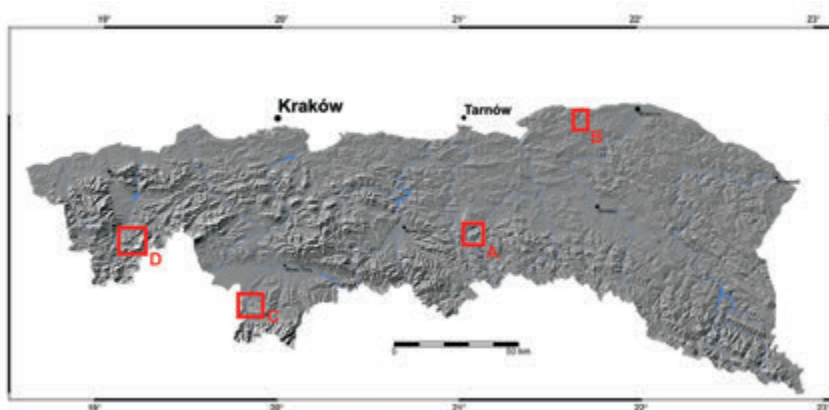
Rt – ryzyko całkowite (*total risk*) – oznacza przewidywaną liczbę ofiar, wielkość zniszczonej zabudowy i infrastruktury gospodarczej oraz zaburzenia działalności gospodarczej w określonym obszarze w wyniku wystąpienia destruktywnego zjawiska. Może być wyrażone wzorem:

$$Rt = (E) \times (RS) = (E) \times (H \times V)$$

W opracowaniu tym wszystkie mapy oraz analizy GIS dotyczą podatności na osuwanie. Zagrożenie osuwiskowe oraz ryzyko osuwiskowe nie jest przedmiotem tej pracy.

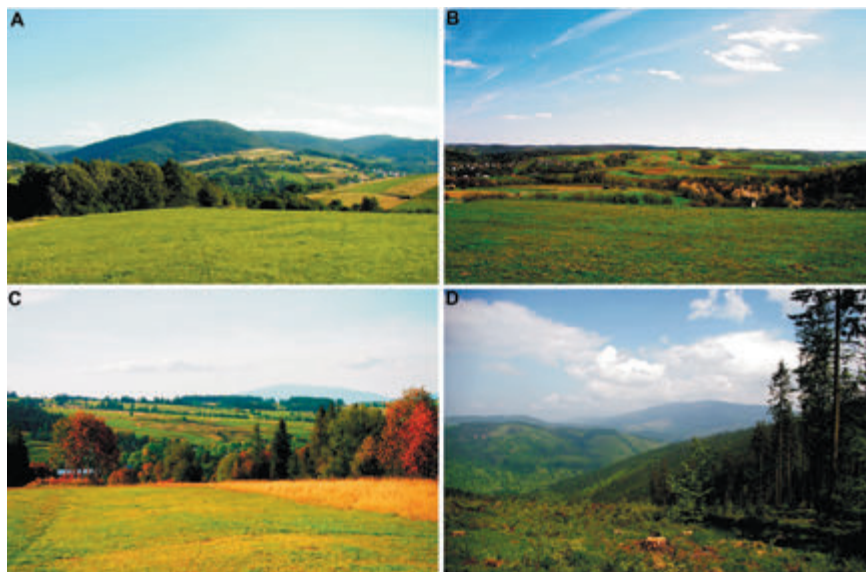
1.4. OBSZAR BADAŃ

Badania przeprowadzono w polskich Karpatach fliszowych. Obszar ten stanowi część rozległego łańcucha górskiego, który na długości 1300 km biegnie od okolic Wiednia do Żelaznej Bramy nad Dunajem. W Polsce Karpaty zajmują 19,7 tys. km², przebiegają łukiem o długości ok. 330 km. Położony w Polsce równoleżnikowy odcinek Karpat obejmuje Pogórze Karpackie, pas średnich gór Beskidów, sięgających po górną granicę lasu, rozległe kotliny śródgórskie Żywiecką i Sądecką, szerokie obniżenie śródgórskie Podhala i wysokogórskie pasmo Tatr. Północną granicę Karpat wyznacza czoło nasunięcia fliszu karpackiego (Starkel 1972). Orograficzny styl Karpat charakteryzuje się występowaniem, na ogół równoległych do siebie, wydłużonych jednostek morfologicznych, nawiązujących przede wszystkim do przebiegu struktur i linii geologicznych oraz odporności skał (Starkel 1972). Prace badawcze przeprowadzono w dwóch różnych skalach przestrzennych: skali regionalnej obejmującej polskie Karpaty



Ryc. 1. Położenie wytypowanych rejonów badawczych w polskich Karpatach fliszowych. A – Beskid Niski (w rejonie Szymbarku), B – Pogórze Dynowskie (na południe od Sędziszowa Młp.), C – zachodnie Podhale, D – Beskid Żywiecki (zlewnia Żabnicy)

Localization of study area in the Polish flysch Carpathians. A – Beskid Niski Mts. (Szymbark village area), B – Dynowskie Foothills (south of Sędziszów Małopolski), C – western Podhale, D – Beskid Żywiecki Mts. (Żabnica catchment)



Fot. 1. A – Beskid Niski (w rejonie Szymbarku), B – Pogórze Dynowskie (na południe od Sędziszowa Młp.), C – zachodnie Podhale, D – Beskid Żywiecki (zlewnia Żabnicy)

A- Beskid Niski Mts. (Szymbark village area), B – Dynowskie Foothills (south of Sędziszów Małopolski), C – western Podhale, D – Beskid Żywiecki Mts. (Żabnica catchment)

fliszowe oraz lokalnej w obrębie czterech wytypowanych obszarów badań (ryc. 1; fot. 1):

- A) w Beskidzie Niskim w rejonie Szymbarku,
- B) na Pogórzu Dynowskim na południe od Sędziszowa Małopolskiego,
- C) na Podhalu w jego zachodniej części,
- D) w Beskidzie Żywieckim w zlewni Żabnicy.

Obszary, w obrębie których przeprowadzono szczegółowe kartowanie osuwisk oraz dla których wykonano analizy GIS, wytypowano w ten sposób, aby przedstawić zróżnicowanie form osuwiskowych w Karpatach. Zróżnicowanie to wynika bezpośrednio z różnorodności czynników pasywnych (tektonika, litologia skał podłoża) oraz aktywnych mających wpływ na rozwój tego typu form. Poszczególne regiony Karpat fliszowych charakteryzują się urozmaiconą budową geologiczną oraz tektoniką, a co za tym idzie rzeźbą terenu. Czynniki te w sposób istotny warunkują rozwój ruchów osuwiskowych w poszczególnych częściach Karpat oraz wpływają na ich rozmieszczenie, typ przemieszczeń oraz parametry morfometryczne.

1.5. METODA BADAŃ

Badania ruchów masowych rozległego obszaru górskiego o skomplikowanej budowie geologicznej i urozmaiconej rzeźbie wymagają odpowiedniego doboru metod badań. Stwierdzenie to odnosi się również do obszaru polskich Karpat fliszowych będących przedmiotem opracowania. W niniejszej pracy zastosowano kilka metod badań w nawiązaniu do przyjętych celów oraz skali opracowania. Badania przeprowadzono w dwóch etapach. Etap pierwszy stanowiły prace terenowe, natomiast etap drugi polegał na analizach GIS.

Badania terenowe, jak już wspomniano, przeprowadzono w czterech wytypowanych obszarach badawczych. Polegały one na kartowaniu geomorfologicznym skutków wybranych ruchów masowych. Prace terenowe przeprowadzono w latach 2006–2008. Podstawą kartowania były mapy topograficzne w skali 1: 10 000 w układzie 92 oraz przygotowany wcześniej formularz do kartowania osuwisk. Wykorzystano również system nawigacji satelitarnej GPS. Głównym celem prac terenowych było sporządzenie mapy osuwisk danego obszaru badań oraz zebranie najważniejszych informacji o występujących tam ruchach masowych. Do podstawowych danych, jakie zbierano w terenie należały:

- położenie danej formy,
- typ osuwiska
- podstawowe parametry morfometryczne,

- wiek oraz stopień aktywności osuwiska,
- budowa geologiczna oraz morfometria stoku, na którym dana forma występuje,
- stosunki wodne w obrębie osuwiska,
- spowodowane szkody,
- potencjalne zagrożenia,
- przyczyny ruchu.

Podczas prac terenowych wykonano również plany wybranych form osuwiskowych oraz zebrano dokumentację fotograficzną. Rezultatem badań są mapy osuwisk wytypowanych obszarów testowych oraz dołączone do nich bazy danych.

Drugi etap badań polegał na analizie i opracowaniu wyników prac terenowych przy użyciu technik komputerowych z zastosowaniem programów GIS. Analizę tego typu przeprowadzono w dwóch skalach przestrzennych: w skali regionalnej, gdzie obszarem badań były polskie Karpaty fliszowe oraz w skali lokalnej, w obrębie czterech wytypowanych obszarów badawczych.

Analiza GIS w skali regionalnej polegała na opracowaniu mapy podatności na osuwanie w polskich Karpatach fliszowych. Źródłem danych nie były w tym przypadku materiały terenowe, lecz opracowania wcześniejsze. W opracowaniu mapy podatności na osuwanie polskich Karpat fliszowych zastosowano jedną z metod bezpośrednich (*landslide index method*). W tej skali opracowania metoda ta wydaje się mieć lepsze zastosowanie od metod pośrednich (Van Westen i in. 1997). Kolejnym czynnikiem potwierdzającym zasadność doboru metody badania jest brak szczegółowej mapy osuwisk Karpat fliszowych, mapy będącej najważniejszym elementem w analizach statystycznych czy modelach deterministycznych.

W skali lokalnej. Podstawą analizy były szczegółowe mapy osuwisk, sporządzone podczas prac terenowych. Możliwość wykorzystania tego typu materiałów pozwoliła na zastosowanie metod ilościowych przy sporządzaniu map podatności na osuwanie. W opracowaniu tym użyto metody „*landslide index method*” (Van Westen 1994). Jej głównym założeniem jest krzyżowanie mapy osuwisk danego terenu z poszczególnymi mapami tematycznymi czynników mających wpływ na osuwanie. Na tej podstawie możliwe jest obliczenie gęstości osuwiskowej poszczególnych klas map tematycznych i odniesienie ich do gęstości osuwiskowej na całej mapie. Metoda ta pozwala na wytypowanie obszarów podatnych na osuwanie oraz umożliwia rozpoznanie i analizę uwarunkowań osuwiskowych w danym obszarze badań. Zastosowane metody GIS zostaną szczegółowo opisane w dalszej części opracowania.

1.6. STAN BADAŃ

Literatura dotycząca ruchów masowych jest bardzo obszerna. Dotyczy to zarówno prac krajowych jak i zagranicznych. Znaczny postęp w badaniach oraz rozwój technik badawczych wpłynął również na różnorodność kierunków i problematyki podejmowanej w pracach o tematyce osuwiskowej. Z tego względu w przeglądzie literatury krajowej i zagranicznej uwzględniono przede wszystkim pozycje nawiązujące bezpośrednio do problematyki i celu badań powyższego opracowania.

Badania osuwisk karpackich sięgają początków XX wieku, kiedy to swoją pionierską pracę opublikowali R. Zuber i J. Blauth (1907). W pracy tej opisano osuwisko w Duszatynie, które po raz kolejny stało się przedmiotem badań w roku 1925 (Schramm 1925). Jedną z najważniejszych prac tamtego okresu była bardzo nowoczesna publikacja L. Sawickiego (1917), w której opisano osuwisko w Szymbarku w Beskidzie Niskim. Po drugiej wojnie światowej pojawiło się więcej prac z zakresu tematyki osuwiskowej. Zmienił się również ich charakter. Oprócz prac typowo opisowych, omawiających wybraną formę powstały opracowania geologiczno-inżynierskie (Śliwa 1955; Śliwa, Wilk 1954). Zaczęły się również pojawiać prace, w których omawiano przyczyny powstawania osuwisk oraz ich związek z pozostałymi elementami środowiska przyrodniczego (Flis 1958; Gerlach i in. 1958; Gołąb 1959).

Pierwszą pracą, która w sposób kompleksowy omawia ruchy osuwiskowe w Karpatach fliszowych oraz wprowadza i porządkuje terminologię z nimi związaną jest praca A. Kleczkowskiego (1955). Autor zamieścił w niej klasyfikację osuwisk, która do dzisiaj nie straciła na aktualności.

W latach późniejszych obserwuje się wyraźny wzrost zainteresowania badaczy tematyką osuwiskową. Powstało wówczas wiele ciekawych opracowań, m.in. prace T. Ziętary o odmładzaniu starych form osuwiskowych w Beskidach Zachodnich (Ziętara 1964) oraz przedstawiające obszary osuwiskowe w Dolinie Dunajca nad Jeziorem Rożnowskim (Ziętara 1973). Szereg prac z zakresu płytkich ruchów masowych opublikował K. Jakubowski, który badał m. in. znaczenie płytkich ruchów osuwiskowych w procesach stokowych w obrębie pokryw zwietrzelinowych na Podhalu (Jakubowski 1964, 1965, 1967, 1968). Wiele z publikowanych w tym okresie prac opisywało poszczególne formy z ich dokładną analizą (Bober, Wójcik 1977; Thiel 1989). Z kolei autorzy innych prac kładli nacisk na charakterystykę ośrodka skalnego budującego stok i jego związek z ruchem osuwiskowym (Bober 1977; Oszczytko 1971). Niektóre opracowania były typu metodycznego i opisywały sposoby badań osuwisk co było cenne także z dydaktycznego punktu widzenia (Bober 1986).

Oprócz prac, w których prezentowano poszczególne osuwiska powstały również opracowania regionalne. Prowadzono badania nad rozmieszczeniem oraz intensywnością ruchów osuwiskowych w poszczególnych regionach Karpat fliszowych (Dobosz, Thiel 1971; Oszczytko 1971). M. Książkiewicz (1972) analizował osuwiska, biorąc pod uwagę elementy morfologii i ich związek z budową geologiczną. L. Bober (1984) scharakteryzował zależność pomiędzy rozwojem osuwisk strukturalnych a budową geologiczną poszczególnych płaszczowin. Na tej podstawie przedstawił on rejon osuwiskowe w Polsce i ich związek z budową geologiczną.

Współczesne badania osuwisk w polskich Karpatach fliszowych koncentrują się na rejestracji ruchów osuwiskowych na terenie Karpat oraz przedstawieniu ich przestrzennego rozmieszczenia i zróżnicowania. Prace tego typu prowadzone są przez Oddział Karpacki Państwowego Instytutu Geologicznego w Krakowie. Dane gromadzone przez wiele lat pozwoliły na opracowanie m. in. *Mapy osuwiskowości polskich Karpat fliszowych* w skali 1: 200 000 (Bober 1985) oraz monografii osuwisk karpackich (Bober 1990). Jedną z ważniejszych pozycji o tematyce osuwiskowej ostatnich lat jest praca autorstwa L. Zabuskiego, K. Thiela, L. Bobera (1999). Opracowanie stanowi podsumowanie badań osuwiskowych w polskiej części Karpat fliszowych. Przedstawiono w nim relacje pomiędzy budową geologiczną poszczególnych płaszczowin a ruchami osuwiskowymi oraz opisano zagadnienia związane z modelowaniem zbczcy i obliczaniem ich stateczności. Załącznikiem do tego opracowania jest wcześniejsza praca będąca zestawieniem wybranych osuwisk karpackich, dla których zebrano dokumentację geologiczno-inżynierską (Bober i in. 1997).

Bardzo ważną pozycją dotyczącą osuwisk w Karpatach jest, wydana przez Państwowy Instytut Geologiczny, *Instrukcja opracowania mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi* (Grabowski i in. 2008). Instrukcja, sporządzona w ramach projektu SOPO porządkuje nazewnictwo oraz systematykę osuwiskową oraz jest praktycznym podręcznikiem przedstawiającym zasady kartowania osuwisk w terenie.

Pomimo dużej liczby badań oraz licznych prac poświęconych tematyce osuwiskowej w Karpatach niewiele jest opracowań dotyczących zagrożenia czy ryzyka osuwiskowego. Negatywne skutki ruchów osuwiskowych rzadko kiedy przedstawiane są wraz z oszacowaniem strat. Zagadnienia tego typu podejmowane były jedynie przy realizowaniu dużych inwestycji inżynierskich (Bober 1975; Wojciechowski 2000; Wójcik, Rączkowski 2001). Opracowania te mają formę ekspertyz i choć prezentują wysoką wartość merytoryczną oraz aplikacyjną nie były upowszechniane w formie publi-

kacji. Sytuacja zmieniła się po roku 1997, kiedy powstało kilka prac przedstawiających zakres zniszczeń wywołanych opadami atmosferycznymi i powodziami (Poprawa, Rączkowski 2003; Oszczypko i in. 2002; Wrońska 2004, 2005; Rączkowski 2007). Jedyną w pełni kompleksową pracą omawiającą zagadnienia zagrożenia oraz ryzyka osuwiskowego w polskich Karpatach jest opracowanie T. Mrozek (2008). Autorka w przejrzysty sposób przedstawiła terminologię związaną z tymi zagadnieniami oraz scharakteryzowała szereg metod badawczych nie stosowanych dotąd w warunkach karpaccich. Ocena ryzyka osuwiskowego została wykonana dla niewielkiej zlewni Bystrzanki w Beskidzie Niskim.

Tematyka zagrożenia oraz ryzyka osuwiskowego znacznie częściej podejmowana jest za granicą. Do najważniejszych prac przeglądowych dotyczących koncepcji, zasad oraz metod oceny podatności i zagrożenia osuwiskowego należą opracowania: m. in. D.J. Varnesa (1984), C.J. van Westen 1993, A. Carrara i in. 1999, M.J. Croziera i T. Glade 2005.

Kolejnym aspektem badań dzięki, któremu możliwe jest lepsze poznanie uwarunkowań rozwoju osuwisk, jest monitoring ruchów osuwiskowych. Niezwykle istotną rolę w rozwoju tego typu badań w Karpatach odegrała Stacja Naukowo-Badawcza Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN w Szymbarku. Szczegółowe badania osuwisk rozpoczęto na osuwisku Kawiory (Dauksza, Kotarba 1973). Kolejne badania wykonano w latach 1972–1975 na osuwisku Zapadle (Gil, Kotarba 1977). Prowadzony monitoring ruchów osuwiskowych w odniesieniu do warunków hydrometeorologicznych pozwolił na zbadanie wielu interesujących zagadnień. Opracowano model ewolucji stoku osuwiskowego (Gil, Kotarba 1979; Gil 1994). Prowadzony monitoring pozwolił na wyznaczenie stref w obrębie osuwiska podlegających przemieszczaniu, dzięki czemu możliwe było prognozowanie rozwoju osuwiska oraz zapobieganie jego negatywnym skutkom.

1.7. PODATNOŚĆ NA OSUWANIE I ZAGROŻENIE OSUWISKOWE – GŁÓWNE KIERUNKI BADAŃ

Ograniczenie negatywnych skutków ruchów masowych jest możliwe tylko wtedy, gdy przeprowadzone zostaną szczegółowe badania nad rozmieszczeniem, charakterystyką oraz określeniem stopnia natężenia procesów osuwiskowych w określonym miejscu i czasie. Sporządzenie dokładnych map podatności na osuwanie oraz ryzyka osuwiskowego powinno stanowić podstawę projektów zmierzających do ograniczenia negatywnych skutków ruchów masowych w obszarach górskich (Van Westen 1994).

Istnieje wiele metod sporządzania map zagrożeń ruchami masowymi oraz podatności na osuwanie (Hansen 1984; Van Westen 1993; Montovani i in. 1996). Można je podzielić na dwie główne grupy (Van Westen i in. 1999):

- metody bezpośrednie – ocena zagrożenia jest sporządzana poprzez kartowanie geomorfologiczne i bazuje na doświadczeniu oraz wiedzy oceniającego,

- metody pośrednie – w których wykorzystywane są modele deterministyczne oraz techniki statystyczne do wytypowania obszarów ryzyka osuwiskowego. Metody te bazują na korelacji warunków środowiskowych i mapy osuwisk danego obszaru.

Dobór metody oraz zastosowanie odpowiednich danych przy tworzeniu map podatności na osuwanie zależy przede wszystkim od skali opracowania. Zazwyczaj takie prace powstają w skali regionalnej (<1:100 000), w średniej skali (1:50 000, 1:25 000) oraz dużej skali (>1:10 000) (Montovani i in. 1996). Idealna mapa zagrożenia ruchami masowymi powinna zawierać informacje na temat: możliwości wystąpienia określonego typu ruchów w przestrzeni i czasie, prędkości przemieszczenia oraz wielkości przemieszczenia.

Do podstawowych technik sporządzania map podatności na osuwanie oraz map ryzyka osuwiskowego należą (Van Westen 1994; Montovani i in. 1996):

1. Analiza rozmieszczenia osuwisk. Jest to jedna z najprostszych metod określania ryzyka osuwiskowego. Podstawą analizy jest mapa osuwisk sporządzona na podstawie zdjęć lotniczych lub badań terenowych. Efekt końcowy traktować można jako podstawową mapę podatności na osuwanie. Mapa zawiera informacje obejmujące stosunkowo krótki okres czasu, w którym ją sporządzono. Metoda przydatna jest w skali średniej i lokalnej. Z uwagi na ograniczenia techniczne oraz na dużą szczegółowość nie jest przydatna w skali regionalnej. Końcowy wynik zależy w dużej mierze od wiedzy i doświadczenia wykonawcy oraz od możliwości przeprowadzenia dokładnych studiów terenowych. Do głównych wad omawianej metody badań należy niewątpliwie duży subiektywizm oceny, bazującej jedynie na umiejętnościach prowadzącego badania.

2. Analiza jakościowa. Stosowane są bezpośrednie lub pośrednie metody przy użyciu, których mapa geomorfologiczna jest przekształcona w mapę podatności na osuwanie. Z kilku map tematycznych, czynników pasywnych powstaje jedna mapa sporządzona na podstawie subiektyw-

nych decyzji badacza i jego doświadczenia. Podstawą tej metody są badania terenowe, w trakcie których określone są czynniki mające wpływ na powstawanie osuwisk. Następnie dla każdego przedziału wytypowanego czynnika osuwiskowego nadawana jest wartość podatności na osuwanie. Na tej podstawie określany jest stopień podatności na osuwanie. W zależności od skali i dokładności opracowania możliwa jest kombinacja kilku map tematycznych przekształconych w mapy podatności na osuwanie. Do najważniejszych map tego typu należą: mapa geomorfologiczna, mapa geologiczna, mapa nachyleń oraz mapa użytkowania terenu. Metody jakościowe znajdują zastosowanie we wszystkich skalach opracowania, a jedynym czynnikiem ograniczającym jest dokładność materiałów źródłowych. Jednak z uwagi na duży subiektywizm oceny nie stosuje się ich powszechnie.

3. Analiza statystyczna. Obejmuje metody, w których stopień podatności na osuwanie określany jest przy użyciu analiz statystycznych. Metody te charakteryzują się znacznie większą obiektywnością oraz mają dużo większe możliwości w stosunku do omawianych wcześniej procedur. Metody ilościowe rozwinęły się oraz zyskały na popularności dzięki upowszechnieniu komputerów osobistych. Podzielić je można na dwie główne grupy:

– Analizy dwu zmiennych (*Bivariate statistical landslide analysis*). Metoda bazuje na zestawieniu mapy osuwisk oraz map tematycznych, czynników kontrolujących ruchy osuwiskowe. Podstawę analizy stanowi dokładna mapa osuwisk oraz obliczenie gęstości osuwisk dla poszczególnych przedziałów map tematycznych. Liczba kombinacji map tematycznych jest nieograniczona, możliwe jest wykonanie oddzielnych analiz dla poszczególnych map. Wyliczona na tej podstawie wartość współczynnika podatności na osuwanie poszczególnych map tematycznych przekształcana jest w końcową mapę podatności na osuwanie. Metoda znajduje zastosowanie w opracowaniach w średniej skali. W skali regionalnej trudno o dokładną mapę osuwisk, która stanowi podstawę dla tego typu opracowań, natomiast w dużej skali metoda jest mało dokładna.

– Analizy wielu zmiennych (*Multivariate statistical landslide analysis*). Metody tego typu należą do opracowań czasochłonnych zarówno pod względem zbierania danych jak i dalszej ich obróbki. Analiza statystyczna wykonywana jest dla wytypowanych jednostek terenu pokrywających cały obszar badań. Dla każdej wytypowanej jednostki zbierane są dane geologiczne, geomorfologiczne oraz hydrologiczne. Obliczenia statystyczne bazują na zależności pomiędzy występowaniem lub brakiem występowania ruchów masowych w poszczególnych jednostkach terenu. Stosuje się tu różnego rodzaju analizy statystyczne, a do najpowszechniejszych należy

analiza regresji (Carrara 1983, 1988, 1992). Analiza wielu zmiennych, podobnie jak analizy dwu zmiennych, znajduje zastosowanie w opracowaniach w średniej skali. Zbyt duża liczba danych oraz konieczność sporządzenia mapy osuwisk uniemożliwia użycie tych metod w skali regionalnej.

4. Analizy deterministyczne. Obejmują metody, w których na podstawie poszczególnych parametrów środowiskowych oblicza się stabilność stoku. Pomimo dużych problemów z dostępnością i pozyskaniem wiarygodnych danych, metody te są powszechnie stosowane w celu określania ryzyka osuwiskowego. Znajdują zastosowanie jedynie w obszarach o względnie jednorodnej budowie geologicznej i rzeźbie oraz tam, gdzie ruchy osuwiskowe nie są zróżnicowane pod względem typu przemieszczeń. Modele stabilizacji stoku wymagają zastosowania: dokładnej mapy pokryw wraz z ich charakterystyką, mapy poziomu wód gruntowych, mapy nachyleń terenu oraz dokładnej charakterystyki hydrogeologicznej obszaru badań. Główną wadą omawianych metod, oprócz trudności z dostępem do danych, jest duże uproszczenie podczas analizy, co może wpłynąć na zafałszowanie końcowego rezultatu pracy. Metody deterministyczne znajdują zastosowanie w opracowaniach w dużej skali na stosunkowo małym obszarze. Wartości graniczne stabilności stoku nie mogą być traktowane jako ostateczne. Są to jedynie dane pogładowe, na podstawie których możliwe jest opracowanie prawdopodobieństwa wystąpienia ruchów masowych przy określonym scenariuszu pogodowym.

5. Analizy frekwencji osuwisk. Szacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia ruchów masowych w określonym miejscu i przedziale czasu jest możliwe tylko wtedy, gdy znane są relacje pomiędzy osuwiskami i czynnikiem mającym wpływ na ich powstanie (opady atmosferyczne, trzęsienia ziemi). Badania tego typu są prowadzone zwłaszcza pod kątem wyznaczenia wartości progowych opadów inicjujących ruchy osuwiskowe.

W badaniach nad określeniem ryzyka osuwiskowego oraz wyznaczeniem stref podatności na osuwanie szczególne zastosowanie znajdują techniki GIS, dzięki którym możliwa jest szybka analiza materiałów kartograficznych oraz właściwie dobrane metody w zależności od celu, skali opracowania oraz dostępności danych. O możliwościach zastosowania tych metod w praktyce świadczy szereg prac wielu autorów z różnych rejonów świata (Clerici i in. 2002; R.J. Pike i in. 2003; Van Westen i in. 2003; Ayalew i in. 2004).

Wśród polskich badaczy problematyka podatności na osuwanie jest znacznie rzadziej poruszana. Do nielicznych prac z tego zakresu należy opracowanie autorstwa T. Mrozek, S. Poli, S. Sterlacchini i L. Zabuskiego

(2004). Autorzy wykorzystali analizę danych pochodzących z kilku warstw tematycznych do oceny zagrożenia osuwiskowego przy użyciu modelu predykcji przestrzennej. Metoda została zastosowana do danych zebranych w obszarze testowym Bystrzanka-Biczyska, w Beskidzie Niskim, w Karpatach Polskich. Wytypowany obszar badań charakteryzuje się dużą liczbą osuwisk (29% badanego obszaru). Podatność osuwiskową oceniono używając metody *weights of evidence* (Bonham-Carter i in. 1989), w której predykcję wystąpienia nowego wydarzenia (osuwiska) wyprowadza się na podstawie znanych czynników pasywnych, kontrolujących ruchy masowe. Opracowana mapa podatności osuwiskowej jest wypadkową oddziaływania przeanalizowanych czynników (osuwisk, litologii, tektoniki, rzeźby użytkowania terenu).

Inną metodę badań zastosował M. Kamiński (2007) przy opracowaniu mapy podatności na osuwanie dla wybranego obszaru w rejonie Jodłówki na Pogórzu Dynowskim. Do szacowania osuwiskowości klas map tematycznych zastosowano metodę indeksową. Podstawę analizy stanowiła mapa osuwisk aktywnych obszaru badań, mapa geologiczna, mapa nachyleń terenu oraz ekspozycji stoków. Autor stwierdza zwiększoną podatność na osuwanie stoków o ekspozycji N o nachyleniu $7-15^{\circ}$ i $15-22^{\circ}$ pokrytych osadami deluwialnymi.

2. UWARUNKOWANIA ŚRODOWISKOWE RUCHÓW MASOWYCH W WYBRANYCH REJONACH KARPAT FLISZOWYCH

Występowanie oraz natężenie ruchów osuwiskowych w danym obszarze jest uzależnione od szeregu czynników. Możemy je podzielić na czynniki pasywne, do których należą m. in.: budowa geologiczna, rzeźba, stosunki wodne, użytkowanie terenu oraz na czynniki aktywne wśród, których wymienić można: opady atmosferyczne, wstrząsy sejsmiczne czy działalność człowieka (Mrozek i in. 2000).

W rozdziale tym zostaną omówione poszczególne czynniki pasywne mające wpływ na ruchy osuwiskowe, czterech wytypowanych obszarów badań.

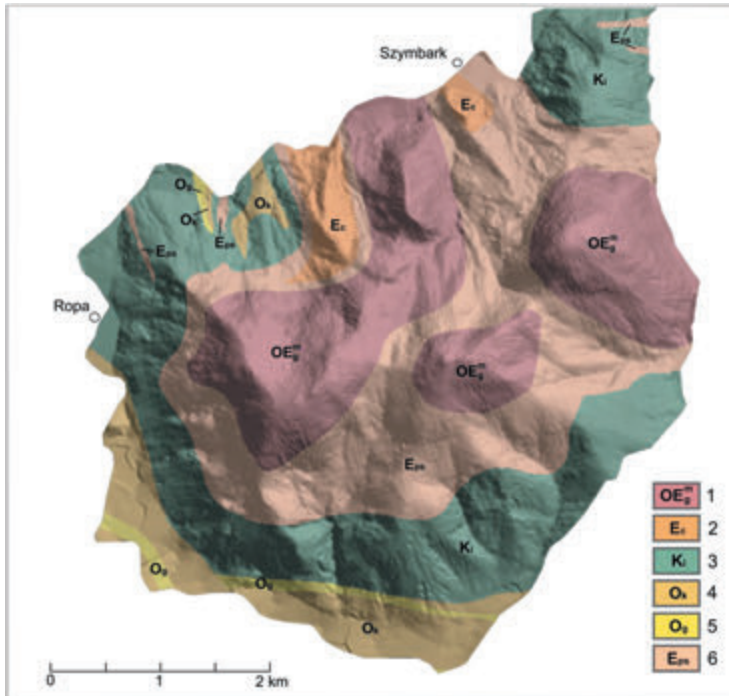
2.1. BESKID NISKI

Masyw Beskidu Niskiego o szerokości 20 km, złożony z szeregu niewysokich pasm, rozciąga się na długości 100 km od przełęczy Tylickiej po Kotlinę Łupkowską. Jest to strefa poprzecznego obniżenia Karpat. Przeważają tu szerokie kopulaste grzbieity o zbliżonych wysokościach 700–850 m n.p.m., które układają się w dwa wyraźne ciągi. Północny z kulminacjami Magury Wątkowskiej (847 m), Cergowej (712 m) i Bukowca (778 m) jest odcinkiem wyższym od południowego. Ciągi te dzieli pas kotlinek i garbów o rzeźbie pogórskiej (Starkel 1972).

Układ grzbieitów o kierunkach NW–SE wiąże się ze stylem tektoniki i jest ukośny do osi wypiętrzenia Beskidu Niskiego. Taka sytuacja spowodowała powstanie kratowego układu sieci rzecznej. Obszar ten budują stromo zapadające ku SW fałdy i łuski jednostki śląskiej, fałdów dukielskiej i jednostki magurskiej, wśród których zmienna jest miąższość kompleksów mało, średnio i bardzo odpornych. Z tym wiąże się, niespotykana gdzie indziej, różnorodność szerokości grzbieitów i całych pasm a także szerokości obniżeń. Grzbieity powstały na odpornych seriach piaskowców ciężkowickich, krośnieńskich, cergowskich, z Mszanki oraz magurskich (Starkel 1972).

W Beskidzie Niskim procesy osuwiskowe grupują się na kilku obszarach, przede wszystkim w obrębie jednostki magurskiej oraz dukielskiej. Najwięcej osuwisk strukturalnych występuje w dorzeczu Ropy, Białej i Jasionki, w warstwach inoceramowych piaskowcowo-łupkowych. Wiele osuwisk występuje w części wschodniej, w rejonie czoła nasunięcia jednostki

magurskiej na łańską oraz w jednostce dukielskiej. Osuwiska w obrębie jednostki magurskiej tworzą się w warstwach hieroglifowych, w pstrych łupkach, na kontakcie tych warstw z piaskowcem magurskim oraz w samym piaskowcu. Oprócz osuwisk strukturalnych spotyka się często małe osuwiska w obrębie glin zwietrzelinowych (Zabuski i in. 1999).



Ryc. 2. Budowa geologiczna obszaru badawczego – Beskid Niski. 1 – piaskowce magurskie, 2 – piaskowce ciężkowickie, 3 – warstwy inoceramowe, 4 – warstwy krośnieńskie, 5 – łupki grybowskie, 6 – łupki pstre (Sikora 1964)

Geology of study area in the Beskid Niski Mts. 1 – Magura sandstones, 2- Ciężkowice sandstones, 3 – Inoceramian beds, 4 – Krosno beds, 5 – Grybów slates, 6 – Variegated shales (Sikora 1964)

2.1.1. BUDOWA GEOLOGICZNA

Wytypowany obszar badań w Beskidzie Niskim, o powierzchni 22,8 km² położony jest w rejonie Szymbarku, w strefie brzeżnej Beskidów i Pogórza Karpackiego. Jego zachodnią i północną granicę stanowi rzeka Ropa, wschodnią potok Bielanka. Obszar ten położony jest w obrębie płaszczowiny magurskiej. Odporne piaskowce budują szczyty Miejskiej i Łysej Góry oraz Suchego Wierchu. Podścielają je eoceńskie łupki pstre oraz warstwy inoceramowe tworzące obniżenia o łagodniejszej rzeźbie. Utwory te zajmują blisko 90% powierzchni obszaru badań. W południowo-wschodniej części rejonu występują warstwy krośnieńskie oraz łupki grybowskie. Natomiast na północy występują piaskowce ciężkowickie (ryc. 2).

Masy skalne w badanym obszarze są wtórnie pofałdowane, przemieszczone wzdłuż uskoku na osi Ropy i pocięte mniejszymi uskokami na bloki (Świdziński 1953; Sikora 1970). Duże uskoki tektoniczne są prawdopodobnie pierwotną przyczyną powstania licznych osuwisk w tym odcinku zlewni Ropy.

2.1.2. GŁÓWNE ELEMENTY RZEŻBY

Fragment Beskidu Niskiego, gdzie przeprowadzono badania terenowe, ma cechy rzeźby beskidzkiej i pogórskiej (ryc. 3). Układ grzbietów i dolin nawiązuje, tak jak w przypadku innych części Beskidu Niskiego, do litologii podłoża i różnic odporności skał. Krawędziowe stoki Miejskiej Góry i Łysej Góry oraz Suchego Wierchu wznoszą się z poziomu krótkich, ale rozległych garbów znaczących poziom pogórski (Kotarba 1986). Maksymalne wysokości bezwzględne dochodzą do 647 m n.p.m. (Suchy Wierch) (fot. 1). Deniwelacje między dnem doliny Ropy a wierzchołkami grzbietów wynoszą 300–450 m. Koryto ma przebieg kręty, rzeka wykorzystuje rozszerzenia doliny, miejscami podcinając stoki. Ponad płaskie dno doliny, którego szerokość przekracza w niektórych miejscach 350 m wznoszą się stoki o profilu wypukło-wklęsło-wypukłym, wypukłym lub prostym. Ich długość wynosi od 0,5 do 2 km. Dominują stoki o nachyleniu 6–10°, które zajmują ponad 37% powierzchni obszaru badań oraz stoki o nachyleniu 11–16° (36% pow.). Większe nachylenia stoków występują w obrębie grzbietów założonych na odpornych piaskowcach magurskich oraz w obrębie nisz osuwisk, gdzie przekraczają 30°. Stoki o mniejszym nachyleniu od 1 do 5° występują głównie w obrębie dna doliny Ropy oraz niższych poziomów terasowych.



Ryc. 3. Główne elementy rzeźby obszaru badawczego – Beskid Niski. 1 – granica obszaru badań, 2 – ciek, 3 – szczyt, 4 – grzbiet boczny, 5 – grzbiet główny, 6 – przełęcz, 7 – równina zalewowa, 8 – koluwia, 9 – skarpa osuwiska, 10 – stok
Main elements of relief. Study area in Beskid Niski Mts. 1 – border of the study area, 2 – river, 3 – peak, 4 – side ridge, 5 – main ridge, 6 – pass, 7 – flood plane, 8 – colluvium, 9 – scarps of landslide, 10 – slope

2.1.3. WYBRANE ELEMENTY KLIMATU

Obszar badań wznosi się na wysokość 310–647 m n.p.m i zawiera się w całości w piętrze klimatycznym umiarkowanie ciepłym (200–700 m n.p.m.), (Hess 1965). Średnie roczne temperatury powietrza mieszczą się tu w przedziale od 6° do 8°, natomiast średnie roczne sumy opadów wynoszą 800–1000 mm. Okres zalegania pokrywy śnieżnej wynosi tu od 65 do 105 dni.

W bezpośrednim sąsiedztwie obszaru badań, w Szymbarku położona jest Stacja Naukowo-Badawcza Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk. Według danych ze stacji średnia suma roczna opadu w okresie od 1967 do 2007 r wynosi 820,1 mm. Najwyższe opady odnotowano w stacji w roku 1974, kiedy spadło 1164,5 mm. Najniższe sumy opadów zanotowano w roku 1982 – 535 mm. W skali roku najwyższe sumy opadów przypadają na miesiące letnie: czerwiec (122,1 mm) i lipiec (112,6 mm). W czerwcu 1973 r na stacji w Szymbarku opad wyniósł 296,7 mm.

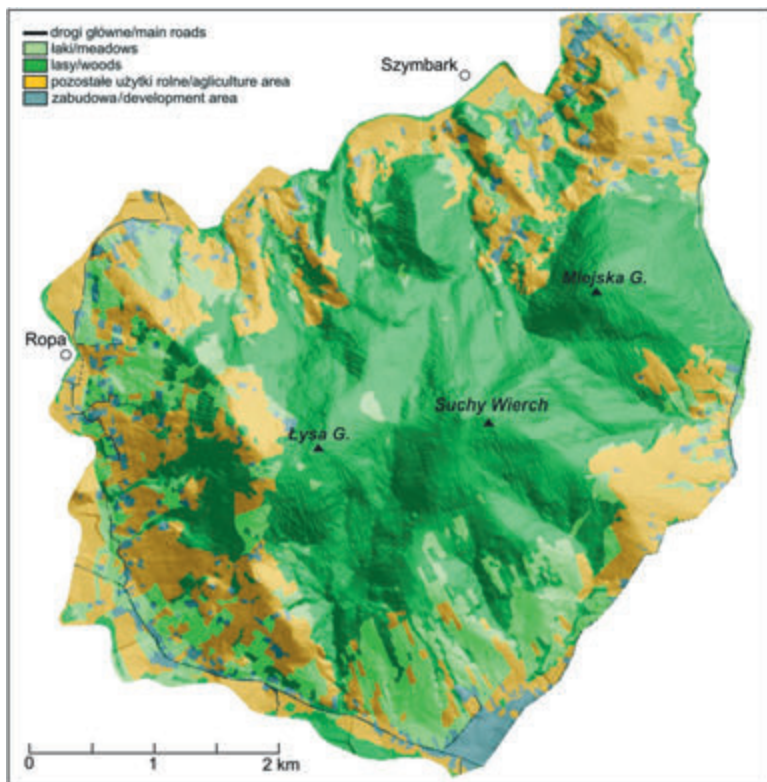
2.1.4. WODY PODZIEMNE I POWIERZCHNIOWE

Beskid Niski charakteryzuje się kratowym układem sieci rzecznej. Jest to efekt przebiegu grzbietów na linii NW–SE wynikający ze stylu tektoniki tego regionu górskiego. Obszar badań położony jest w całości w zlewni Ropy. W odcinku od wsi Łosie po Szymbark Ropa płynie w odcinku przełomowym wykorzystując predyspozycje tektoniczne. Ma ona typowy dla makroregionu wschodniego śnieżno-opadowy typ zasilania (Dobija 1981). Reżim hydrologiczny Ropy cechuje duża sezonowa oraz mała wieloletnia zmienność przepływu. Występują tu dwa wezbrania, roztopowe na wiosnę oraz drugorzędne letnie opadowe (Dynowska 1975; Chełmicki i in. 1998–1999). Na kształtowanie przepływów rzeki Ropy w omawianym odcinku ma również wpływ zapora hydrotechniczna w Klimkówce.

Ruchy masowe wiążą się z charakterem krążenia wody w górotworze. Kompleksy skalne na badanym obszarze, podobnie jak w całych Beskidach mają bogate zbiorniki wód podziemnych. Wodonośne piaskowce magurskie oddają wodę do niżej położonych kompleksów fliszu, często o wykształceniu ilastym. Woda wypływająca w brzeżnej strefie Beskidu zasila obszary położone u podnóża, przyczyniając się tym samym do rozwoju osuwisk.

2.1.5. UŻYTKOWANIE TERENU

Na badanym obszarze dominują lasy, które zajmują nieco ponad 50% powierzchni (ryc. 4), ze zbiorowiskami buczyny z domieszką świerka oraz sosny. Porastają głównie stoki o dużym nachyleniu $>15^{\circ}$, założone na odpornych piaskowcach magurskich, górne odcinki dolin bocznych i obszary osuwiskowe. W dolnych partiach stoków o mniejszym nachyleniu, gdzie panują znacznie lepsze warunki dla rolnictwa występują użytki rolne (29% pow.) oraz łąki (15%). Pozostałe 6% stanowi zabudowa gospodarcza, zlokalizowana w dnie doliny Ropy oraz w dolnych partiach stoków, często w obrębie koluwiów.



Ryc. 4. Użytkowanie terenu obszaru badawczego – Beskid Niski
Land use of the study area in Beskid Niski Mts.

2.2. POGÓRZE DYNOWSKIE

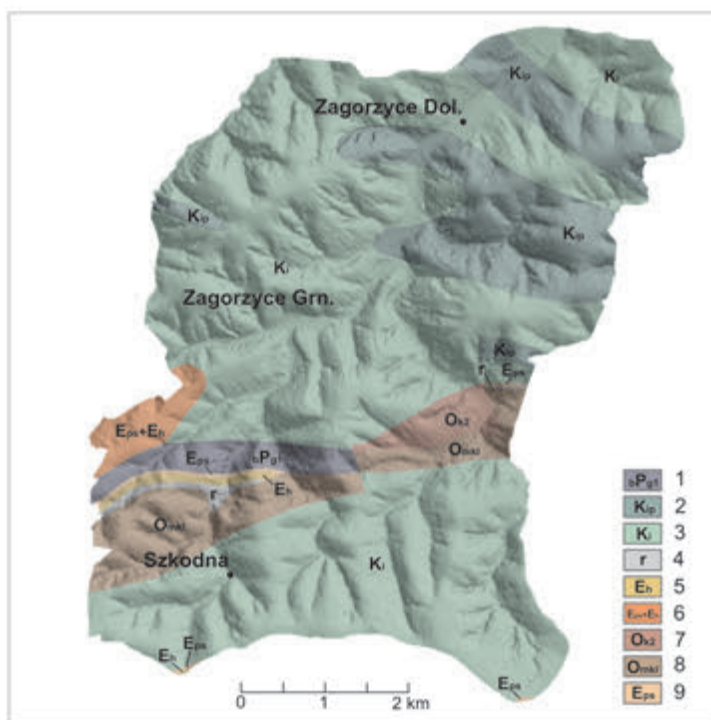
Pogórze Dynowskie ciągnie się od doliny Wisłoki po Wiar na odcinku 105 km. Od południa graniczy z kotlinami i grzbieciami Pogórza Strzyżowskiego oraz Wyżyny Wańkowej. Jego północną granicę stanowi próg o wysokościach względnych 100–150 m opadający do Kotliny Sandomierskiej. Rzeźbę tworzą tu szerokie, wyrównane garby o wysokościach 350–450 m n.p.m. Płaskie wierzchowiny rozczłonkowane są dolinami do głębokości 150 m. Dna dolin głównych, rozcinających próg pogórza (Wielopolki, Budziska) o przebiegu zbliżonym do południkowego, są szersze (200–300 m). Wzdłuż tych dolin ciągną się niższe spłaszczenia o wysokościach względnych 40–60 m (Starkel 1972).

Pogórze Dynowskie zbudowane jest ze średnio odpornych warstw inoceramowych, krośnińskich i innych, wchodzących w skład jednostki brzeżnej (skolskiej). Wąskie strefy skał małoodpornych wykorzystywane są przez doliny. Warstwy nachylone są przeważnie na południe. Fałdy te oddzielają wąskie synkliny. Na południe od fałdów ropczyckich warstwy krośnińskie wypełniają szerokie synklinorium. Są one bardzo silnie potrzaskane, gdyż leżą na przedpolu nasunięcia płaszczowiny śląskiej. Zapadlisko podkarpackie wypełnione jest utworami miocenu, których miąższość sięga 300–2000 m (Klimek i in. 1969).

2.2.1. BUDOWA GEOLOGICZNA

Badania wykonano dla obszaru o powierzchni 37,3 km² obejmującego S część gminy Sędziszów Małopolski oraz fragment gminy Ropczyce. W budowie podłoża dominują piaskowce i łupki inoceramowe, rozwinięte w dwóch szerokich pasach, zajmujących 70% powierzchni obszaru badań. W północnej części występują również lokalnie piaskowce gruboławicowe i łupki warstw inoceramowych (20% powierzchni). Starsze warstwy skalne, w rejonie wsi Szkodna i Zagorzyce są rozdzielone wąskim pasem młodszych utworów skalnych, w skład których wchodzi pstre łupki eoceńskie oraz warstwy menilitowe (ryc. 5). Na podłożu skał fliszowych zalegają pokrywy zwietrzelinowe oraz pokrywa lessu miąższości co najmniej 10 m.

Starsze utwory przykrywają osady czwartorzędowe. Są to głównie pokrywy zwietrzelinowe skały macierzystej. Występują one głównie w południowej części regionu. Na północy obszaru badań występują lessy pochodzące z okresu zlodowacenia vistuliańskiego. Pokrywy tego typu zalegają na peryglacialnym podłożu lub na osadach fluwioglacjalnych czy fluwialnych. Miąższość lessu jest zmienna – największa na niskich spłaszczeniach i dolnych częściach zboczy (20 m). Mała odporność spowodowała, że less zachował się tylko częściowo w postaci pojedynczych płatów (Starkel 1957).



Ryc. 5. Budowa geologiczna obszaru badawczego – Pogórze Dynowskie. 1 – ily z egzotykami i żwirowce ilaste, ily babickie, 2 – piaskowce gruboławicowe i łupki warstw inoceramowych, 3 – piaskowce i łupki warstw inoceramowych, 4 – rogowce, margle skrzemieniałe i łupki, 5 – łupki i piaskowce cienkoławicowe, 6 – łupki i piaskowce cienkoławicowe, łupki pstre, 7 – łupki i piaskowce warstwy krośnieńskie górne, 8 – łupki menilitowe z wkładkami piaskowców kliwskich, 9 – łupki pstre (Jasionowicz i in. 1964; Jasionowicz, Kuciński 1965)

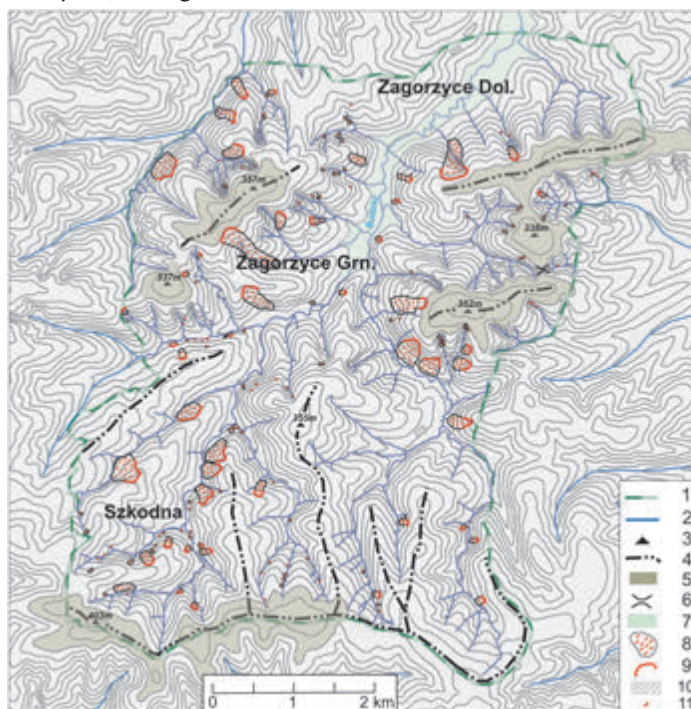
Geology of the study area in the Dynowskie foothills.

1 – Babice loams, 2 – high thickness sandstones and slates – inoceramian beds, 3 – sandstones and slates – inoceramian beds, 4 – cherts and slates, 5 – slates and sandstones, 6 – slates and sandstones, variegated shales, 7 – slates and sandstones, Krosno Beds, 8 – slates and Kliwskie sandstones, 9 – variegated shales (Jasionowicz i in. 1964; Jasionowicz, Kuciński 1965)

2.2.2. GŁÓWNE ELEMENTY RZEŻBY

Obszar badań wchodzi w skład Pogórza Dynowskiego rozciągającego się na przedpolu Beskidów, od Wiśłoki do Sanu oraz Kotliny Sandomierskiej (Starkel 1972). Rzeźbę pogórską tworzą płaskie garby leżące w wysokościach 350–400 m n.p.m. Deniwelacje nie przekraczają 200 m (ryc. 6). W północnej części, Pogórze opada ku Kotlinie Sandomierskiej progim o wysokościach względnych 50–100 m. Próg ten rozcinają doliny należące

do dorzecza Wielopolki (Budzisz, Bystrzyca i Gnojnica) o przebiegu południkowym oraz liczne małe formy dolinne. Grzbiety o wyrównanych wierzchołkach rozczłonkowane są dolinami do głębokości 100–150 m, o dnach szerokich, w odcinkach dolnych z wykształconymi systemami terasowym, a w odcinkach źródłowych wąskich (Starkel 1957; Klimek i in. 1969). Dominują stoki o nachyleniu 3–8° i 9–14°. Większe nachylenia występują w obrębie stromych zboczy dolin wciosowych, zwłaszcza w południowej części regionu.



Ryc. 6. Główne elementy rzeźby. Obszar badawczy – Beskid Niski.

1 – granica obszaru badań, 2 – ciek 3 – szczyt, 4 – grzbiet boczny, 5 – spłaszczenie wierzchołkowe, 6 – przełęcz, 7 – równina zalewowa, 8 – koluwia, 9 – skarpa osuwiska, 10 – stok, 11 – spływy błotne

Main elements of relief. Study area in Beskid Niski Mts.

1 – border of the study area, 2 – river, 3 – peak, 4 – side ridge, 5 – flat ridge, 6 – pass, 7 – flood plane, 8 – colluvium, 9 – scarps of landslide, 10 – slope, 11 – mud flow

2.2.3. WYBRANE ELEMENTY KLIMATU

Strefa progowa Pogórza Karpackiego leży w obrębie najcieplejszego piętra klimatycznego w Karpatach o średniej rocznej temperaturze powietrza w granicach +6 do +8 stopni (piętro umiarkowanie ciepłe) (Hess 1965). Średnie sumy opadów na stacji w Ropczycach w latach 1950–1974 wynosiły 690 mm. Najniższe średnie sumy miesięczne opadu przypadają na styczeń i marzec (38 mm), maksymalne średnie sumy miesięczne opadu notowano w czerwcu i lipcu – 97 mm (Soja 1983).

2.2.4. WODY PODZIEMNE I POWIERZCHNIOWE

Sieć rzeczna w tym obszarze pozostaje w ścisłej zależności od rzeźby, budowy geologicznej i opadów. Tworzy ona układ dendrytyczny, typowy dla obszarów górskich. Pogórska część zlewni Budzisz jest głównym obszarem alimentacyjnym wód powierzchniowych dla całego dorzecza, stąd wody spływają w kierunku północnym. Obszar ten odznacza się dużą gęstością cieków stałych i okresowych, dużym wpływem oraz mało zasobnymi zbiornikami wody podziemnej. Strefa progowa jest natomiast obszarem zaniku wód powierzchniowych i wsiąkania w stosunkowo przepuszczalne podłoże (Dynowski, Kwiek 1963).

Wody podziemne na badanym obszarze można podzielić na dwa zbiorniki. Pierwszy to zbiornik skalno-pokrywowy obejmujący swym zasięgiem prawie całą zlewnię. Woda zalega tutaj w mało i średnio przepuszczalnych pokrywach zwietrzelinowych – w glinach piaszczystych i piaskach ilastych. Woda tego zbiornika wnika w uszczelnioną stropową partię skał podścielających. Znaczna liczba wypływów wody ze skał jest uwarunkowana silnym rozczłonkowaniem i rozdolinieniem górnej części zlewni. Drugi zbiornik, aluwialny obejmuje swym zasięgiem dolinę środkowego i dolnego Budzisz. Wody podziemne występują tu w jednym, w dwóch, a nawet w trzech poziomach (Dynowski, Kwiek 1963).

2.2.5. UŻYTKOWANIE TERENU

Region pogórski, a szczególnie lessowe przedgórze to obszary przekształcone przez człowieka. Naturalne zbiorowiska roślinne zostały zastąpione przez pola uprawne i zabudowę. W badanym obszarze użytki rolne zajmują ponad 23 km², co stanowi blisko 63% powierzchni. Udział lasów jest niewielki i wynosi jedynie 9 km² (23%). Większe zbiorowisko leśne występuje w południowej części regionu, a skład gatunkowy stanowią buki, świerki oraz sosny. Na pozostałym obszarze lasy porastają jedynie stromo nachylone zbocza dolin wciosowych. Pozostałe 14% stanowią łąki oraz zabudowa gospodarcza skupiająca się głównie w dnie doliny Budzisz (ryc. 7).



Ryc. 7. Użytkowanie terenu obszaru badawczego – Pogórze Dynowskie
Land use of the study area in Dynowskie Foothills

2.3. PODHAŁE (POGÓRZE GUBAŁOWSKIE)

Podhale, leżące na przedpolu Tatr tworzy rozległą depresję, złożoną z kilku równoległych stref obniżień, pogórzy i niskich gór. Granice regionu, zarówno południowa (krawędź Tatr), jak i północna są wyraźne. Region ten od wschodu i zachodu przechodzi niewyraźną granicą w pogórze i kotliny Spisza i Orawy. Podłoże stanowią tutaj piaskowcowo-lupkowe osady paleogeńskiego fliszu, później zaburzone tektonicznie, a w części północnej miąższe do kilkuset metrów łył mioceńskie, żwiry i gliny plioceńskie i czwartorzędowe (Starkel 1972).

W obrębie regionu Podhala wydziela się: Rów Podtatrzański, Pogórze Gubałowskie, Pas Skalicowy, Kotlinę Orawsko-Nowotarską i Działy Orawskie (Klimaszewski 1952). Badania nad osuwiskami w tej części Karpat przeprowadzono w obrębie Pogórza Gubałowskiego, w jego zachodniej części.

Z punktu widzenia obecności osuwisk, Pogórze Gubałowskie podzielić można na część wschodnią i zachodnią. Część wschodnia charakteryzuje się znacznie większą osuwiskowością od części zachodniej. Osuwiska występują tutaj najczęściej w łupkowych warstwach zakopiańskich i rzadziej w warstwach chochołowskich (Zabuski i in. 1999).

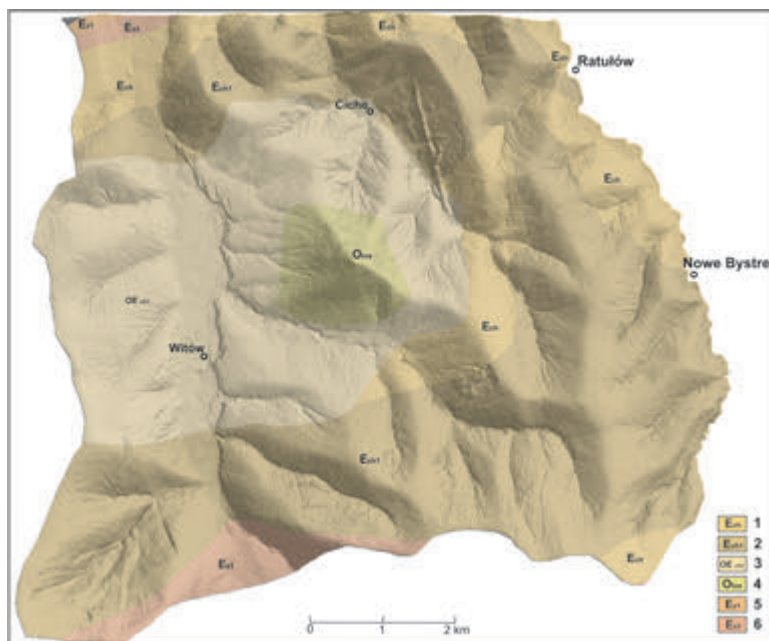
2.3.1. BUDOWA GEOLOGICZNA

Badania terenowe przeprowadzono w zachodniej części Podhala o powierzchni 64 km². Jego zachodnią granicę stanowi grzbiet Krowiarek (906 m n.p.m.) oraz Magury Witowskiej (1228 m n.p.m.). Na południu granica przebiega wzdłuż pasma Gubałówki (1120 m. n.p.m.), a na wschodzie wzdłuż potoku Bystrego.

Flisz podhalański charakteryzuje się dość prostą budową geologiczną. W zachodniej części głównym elementem budowy niecki Podhala jest płaska synklina Ostrysza. Jest ona wypełniona piaskowcowymi warstwami ostryskimi (oligocen), stanowiącymi najmłodsze ogniwo fliszu podhalańskiego. Warstwy ostryskie są podścielone piaskowcowo-łupkowymi warstwami chochołowskimi (oligocen), pod które zapada najstarsze ogniwo-łupkowe, warstwy zakopiańskie (górnego eocenu-oligocenu), (Gołąb 1959). Od wschodu, wzdłuż uskoku o biegu NNW-SSE, do synkliny Ostrysza przylega synklina Nowego Bystrego, która jest podniesiona w stosunku do synkliny Ostrysza. Synklinę Nowego Bystrego wypełniają warstwy chochołowskie i zakopiańskie (Bober 1984).

W badanym obszarze dominują piaskowcowo-łupkowe i piaskowcowe warstwy chochołowskie dolne, które zajmują 64% powierzchni oraz piaskowce i bentonity warstw chochołowskich górnych (28%). Pozostałe 8% powierzchni terenu budują łupki i piaskowce warstw ostryskich (4%) oraz warstwy zakopiańskie górne i dolne (4%), w skład których wchodzi łupki i piaskowce cienkoławicowe (ryc. 8).

Osuwiskowość zachodniego Podhala jest mała i jest związana głównie z warstwami zakopiańskimi i chochołowskimi (Bober 1984). Rozwój osuwisk w tym obszarze powiązany jest ze współczesnymi ruchami neotektonicznymi. Są to ruchy pionowe i mają formę blokowo-uskokową (Baumgart-Kotarba 1983). Obejmują one zarówno całe jednostki strukturalne Podhala jak i ich blokowe fragmenty (Mastella 1975a). W obrębie Pogórze Gubałowskiego pionowe ruchy odbywają się głównie wzdłuż południkowych stref uskokowych oraz w równoleżnikowej strefie warstw o małych upadach, gdzie rozwinęły się osuwiska konsekwentno-strukturalne (Mastella 1975b).



Ryc. 8. Budowa geologiczna obszaru badawczego – Zachodnie Podhale.

1 – warstwy chochołowskie dolne, piaskowce, 2 – warstwy chochołowskie dolne, łupki i piaskowce cienkoławicowe, 3 – warstwy chochołowskie górne, piaskowce, bentonity, 4 – warstwy ostryskie, piaskowce i łupki, 5 – warstwy zakopiańskie dolne, piaskowce i łupki, 6 – warstwy zakopiańskie górne, piaskowce i łupki cienkoławicowe (Badak 1964)

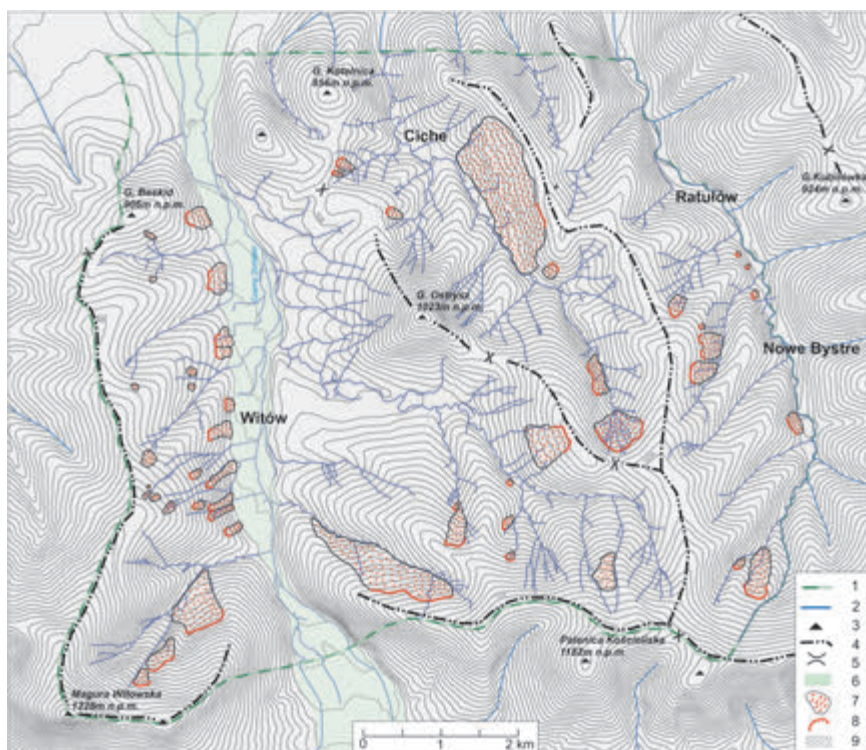
Geology of the study area in the Western Podhale.

1 – lower Chochołów layers, sandstones, 2 – lower Chochołów layers, slates and sandstones, 3 – upper Chochołów layers, sandstones, 4 – Ostrysz layers, sandstones and slates, 5 – lower Zakopane layers, sandstones and slates, 6 – upper Zakopane layers, sandstones and slates (Badak 1964)

2.3.2. GŁÓWNE ELEMENTY RZEŻBY

Rzeźba Pogórza Gubałowskiego ma charakter wyżynny o szerokich spłaszczonych wierzchołkach opadających w kierunku północnym (ryc. 9). Wysokości bezwzględne nieznacznie przekraczają tu 1200 m n.p.m. Deniwelacje w obszarze badań dochodzą do 530 m. Północną granicę stanowi próg denudacyjny Gubałówki, założony na odpornych piaskowcach. Na jego południowym skłonie powstały liczne osuwiska. Ku północy pogórze opada dwoma stopniami w kierunku odizolowanych wzgórz Pasa Skalicowego i równinom stożków Kotliny Orawsko-Nowotarskiej (fot. 1C). Obszar badań rozczłonkowany jest przez dolinę Czarnego Dunajca oraz przez mniejsze potoki Ciche i Bystry. Doliny mają głębokość od 200 do 300 m, a ich szerokość w przypadku doliny Czarnego Dunajca dochodzi do 500 m. Stoki o profilu wypukłym lub wypukło-wklę-

słym dochodzą do 2 km długości. Nachylenia zboczy są zróżnicowane. Na odpornych warstwach toryskich i zakopiańskich nachylenia stoków przekraczają miejscami 37° . Dominują stoki o nachyleniu $3-8^{\circ}$ (45%) oraz stoki o nachyleniach $9-14^{\circ}$ (37%).



Ryc. 9. Główne elementy rzeźby obszaru badawczego – zachodnie Podhale. 1 – granica obszaru badań, 2 – ciek 3 – szczyt, 4 – grzbiet, 5 – przełęcz, 6 – równina zalewowa, 7 – koluwia, 8 – skarpa osuwiska, 9 – stok.

Main elements of relief. Study area in western Podhale. 1 – border of the study area, 2 – river, 3 – peak, 4 – ridge, 5 – pass, 6 – flood plane, 7 – colluvium, 8 – scarp of landslide, 9 – slope

2.3.3. WYBRANE ELEMENTY KLIMATU

Wytypowany obszar badań znajduje się w obrębie dwóch pięter klimatycznych: umiarkowanie ciepłego oraz umiarkowanie chłodnego (Hess 1965). Tylko górne partie Magury Witowskiej sięgają piętra chłodnego. Piętro umiarkowanie ciepłe osiąga wysokość 700 m n.p.m. Średnie roczne temperatury powietrza mieszczą się w przedziale od 6^o do 8^o, natomiast średnie roczne sumy opadów wynoszą 800–1000 mm. Okres zalegania pokrywy śnieżnej wynosi od 65 do 105 dni. Południowa część Pogórza Gubałowskiego położona jest w obrębie piętra umiarkowanie chłodnego. W piętrze tym średnie temperatury roku oscylują w granicach 2,5–4,7^o. Średnie roczne sumy opadów wynoszą 1200–1800 mm. Pokrywa śnieżna na tej wysokości zalega średnio 140 dni.

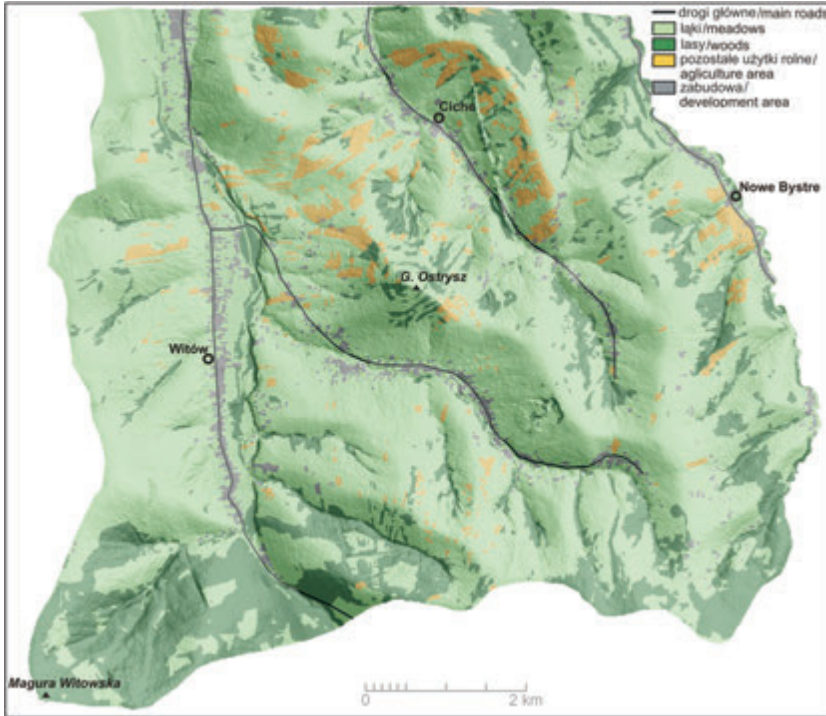
2.3.4. WODY PODZIEMNE I POWIERZCHNIOWE

Obszar badań odwadniany jest przez Czarny Dunajec oraz przez dwa mniejsze potoki: Ciche i Bystry. Mają one przebieg południkowy i nawiązują do układu głównych struktur geologicznych i morfologicznych. Na badanym obszarze występują liczne źródła szczelinowe oraz porowe charakteryzujące się bardzo małą wydajnością (Dynowska 1975). Sprzyja to powstawaniu licznych wysięków wody, co prowadzi do powstawania płytkich zsuwów zwietrzliny oraz złazisk. Prawidłowość ta szczególnie dobrze jest widoczna w zachodniej części regionu.

Głównym obszarem zasilania wglębnych podhalańskich poziomów wodonośnych są Tatry. Przepływ strumienia wód podziemnych odbywa się na NW i NE. Obszar badań położony jest w południowej części niecki podhalańskiej, gdzie następuje intensywna wymiana wody oraz stopniowy wzrost temperatury wód podziemnych. Poniżej utworów fliszowych występuje zbiornik wód geotermalnych (skały eocenu środkowego i mezozoiku) (Kępińska 2006).

2.3.5. UŻYTKOWANIE TERENU

Obszar Podhala jest gęsto zaludniony, osadnictwo rozwinęło się zarówno w dnach dolin, jak i na wierzchowinach. Zdecydowanie przeważają powierzchnie bezleśne, wykorzystywane pod wypas owiec i bydła lub istniejące, jako łąki nie koszone. Stanowią one nieco ponad 70% powierzchni obszaru. Kompleksy leśne występują jedynie w południowej części regionu. Lasy, głównie świerkowe, zajmują 20% powierzchni. Pozostałe 10% stanowią użytki rolne, m.in. pola uprawne oraz zabudowa gospodarcza (ryc. 10).



Ryc. 10. Użytkowanie terenu. Obszar badawczy – zachodnie Podhale
Land use of the study area in western Podhale

2.4. BESKID ŻYWIECKI (ŻABNICA)

Jest to najwyżej położone w Zachodnich Karpatach Zewnętrznych pasmo górskie (1725 m n.p.m.). Beskid Żywiecki ciągnie się od przełęczy Jabłonkowskiej po małą Kotlinę Wiśniowej. Od północy graniczy z Obniżeniem Jabłonkowskim i Pogórzem Wielickim, od południowego-wschodu z pogórzami Bramy Sieniawskiej i Beskidem Wyspowym. Zajmuje obszar 1023 km² (Starkel 1972).

Beskid Żywiecki tworzą pasma górskie, grupujące się w cztery człony, oddzielone wąskimi poprzecznymi obniżeniami erozyjnymi. Rzeźbę tworzą tu zwarte grzbiety górskie, głębokie do 800 m wąskie doliny i wypukłe, proste lub wypukłowlkłe stoki o nachyleniu 20–35°. Ze względu na typ rzeźby i układ grzbietów Beskid Żywiecki można podzielić na kilka części. Grupa Wielkiej Raczy (1234 m. n.p.m.) o układzie widlastym jest rozcięta dopływami Soły. Grupa Pilska obejmująca kopułę Pilską (1557m n.p.m.)

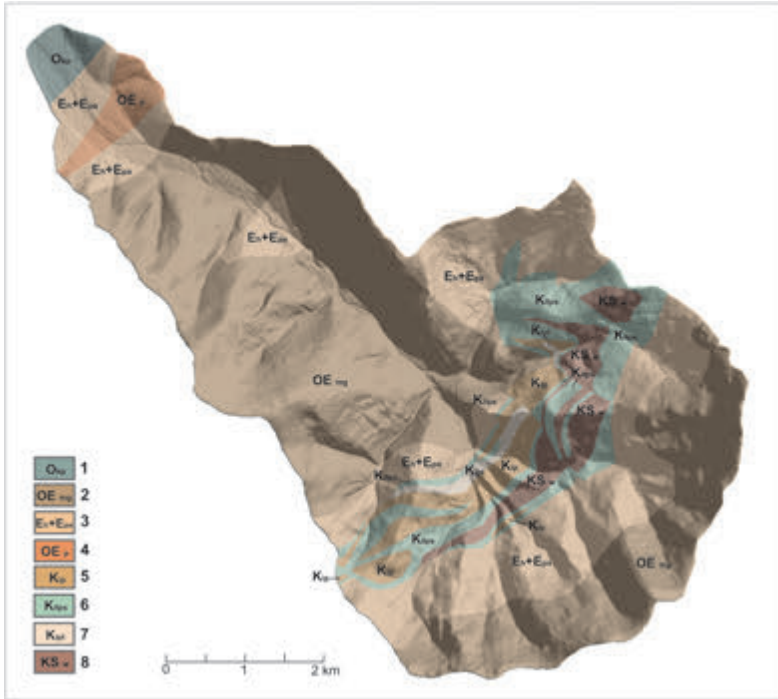
i inwersyjne pasmo Lipowskiej i Romanki (1366 m n.p.m.) obrzeżone spłaszczeniami wysokich pogórzy. Grupa Babiogórska składająca się z monoklinalnych lub inwersyjnych grzbietów Babiej Góry (1725 m n.p.m.) i Policy (1367 m n.p.m.), (Starkel 1972).

Region Beskidu Żywieckiego charakteryzuje duże nagromadzenie osuwisk. Większość stanowią osuwiska strukturalne konsekwentne i insekwentne, utworzone na kontakcie cienkoławicowych piaskowców i łupków z gruboławicowymi piaskowcami warstw magurskich. Część osuwisk związana jest z łupkowo-piaskowcowymi warstwami podmagurskimi i eocenijskimi łupkami pstrymi. Istotną rolę w powstawaniu osuwisk ma również tektonika nieciągła oraz spękania (Zabuski i in. 1999).

2.4.1. BUDOWA GEOLOGICZNA

Beskid Żywiecki budują płaskie nasunięcia i fałdy jednostki magurskiej, jedynie w strefie brzeżnej ustawione stromiej. Odporne piaskowce magurskie w szerokich synklinach osiągają niekiedy miąższość do 1600 m, gdzie tworzą inwersyjne pasma. Pasma te oddzielają głębokie i wąskie obniżenia wypreparowane w seriach kredy i eocenu, w których występują również odporne serie zlepieńców (Sikora, Żytko 1960).

Zlewnia Żabnicy o powierzchni 36,4 km², gdzie przeprowadzono kartowanie geomorfologiczne, położona jest w obrębie płaszczowiny magurskiej w strefie granicznej z Łuską Przedmagurską. Na badanym obszarze dominują piaskowce magurskie facji muskowitzowej występujące w dwóch pasach na północy i południu. Stanowią one 51% skał budujących podłoże. Utwory eocenijskie w środkowej części zlewni rozdzielone są starszymi seriami skalnymi, głównie piaskowcami ciężkowickimi i pasierbieckimi, łupkami pstrymi oraz warstwami hieroglifowymi (27%). W pasie starszych skał występują również warstwy inoceramowe normalne (9%), piaskowce ze Szczawiny (4%) oraz piaskowce gruboławicowe i zlepieńce warstw inoceramowych (4%). Pozostałe 5% powierzchni obszaru badań stanowią warstwy podmagurskie oraz warstwy krośnieńskie (ryc. 11). Strefa graniczna płaszczowiny magurskiej sprzyja obecności uskoków tektonicznych. W badanym obszarze, w większości przypadków, mają one przebieg NW–SE.



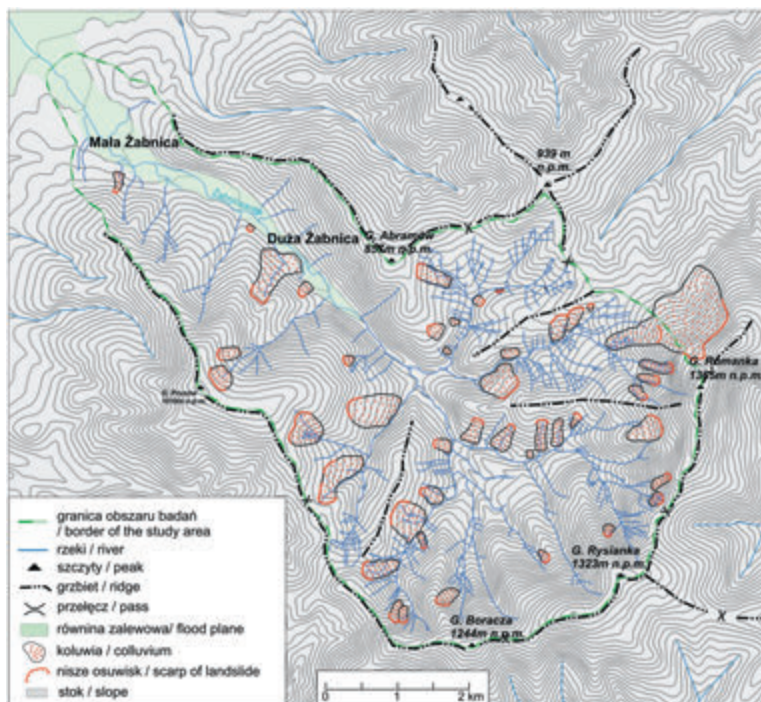
Ryc. 11. Budowa geologiczna obszaru badawczego – Beskid Żywiecki (zlewnia Żabnicy). 1 – warstwy krośnieńskie, 2 – piaskowce magurskie, 3 – piaskowce ciężkowickie i pasierbieckie, pstre łupki, warstwy hieroglify, 4 – piaskowce ciężkowickie, pstre łupki, warstwy podmagurskie, 5 – piaskowce gruboławicowe i zlepionce warstw inoceramowych, 6 – warstwy inoceramowe normalne, 7 – warstwy inoceramowe z wkładkami łupków pstrych, 8 – piaskowce ze Szczawiny (Burtan i in. 1956)

Geology of the study area in Beskid Żywiecki Mts. (Żabnica catchment). 1 – Krosno Beds layers, 2 – Magura sandstones, 3 – Ciężkowice and Pasierbiec sandstones, spotted slates, 4 – Ciężkowice sandstones, variegated shales 5 – high thicknes sandstones and inoceramowe layers, 6 – innoceramowe layers, 7 – innoceramowe layers with spotted slates, 8 – Szczawina sandstones (Burtan i in. 1956)

2.4.2. GŁÓWNE ELEMENTY RZEŻBY

Rzeźbę zlewni Żabnicy stanowią monoklinalne grzbiety Romanki (1365m n.p.m.) i Lipowskiej (1323m n.p.m.) założone na SE skrzydle antykliny Sopotnia Mała-Rajcza. Dolina Żabnicy wykształciła się w środkowej jej części. Zlewnia ma układ koncentryczny, amfiteatralne zamknięcie rozcinają doliny wciosowe o niewyrównanym przebiegu podłużnym (Ziętara 1968), (ryc. 12). Zbocza dolin o profilu wypukłym, wklęsło-wypukłym mają zróżnicowane nachylenia. Dominują stoki o spadkach 15–25° (54%) oraz stoki o nachyleniach 9–14° (24%). W południowej części obszaru

badania, w zamknięciach dolin wciosowych nachylenia terenu przekraczają 30°, a w obrębie nisz osuwisk miejscami przekraczają 45°. Wysokości bezwzględne dochodzą do 1365 m n.p.m. (Góra Romanka), natomiast wysokości względne sięgają 800–900 m (fot 4D).



Ryc. 12. Główne elementy rzeźby. Obszar badawczy – Beskid Żywiecki.
Main elements of relief. Study area in Beskid Żywiecki Mts.

2.4.3. WYBRANE ELEMENTY KLIMATU

Zlewnia Żabnicy ze względu na duże wysokości bezwzględne położona jest w obrębie, aż trzech pięter klimatycznych: umiarkowanie ciepłego, umiarkowanie chłodnego oraz chłodnego (Hess 1965). Średnie roczne temperatury powietrza kształtują się od +6° w niżej położonych partiach do +2° w obrębie najwyższej położonych grzbietów. Liczba dni zalegania pokryw śnieżnej również jest zróżnicowana i zależy od wysokości nad poziom morza oraz od ekspozycji stoku. W występujących tu piętrach klimatycznych średnia liczba dni z pokrywą śnieżną wynosi od 30 w piętrze umiarkowanie ciepłym do 57 dni w piętrze chłodnym (Hess 1965).

Beskid Żywiecki z uwagi na położenie geograficzne i wysokości bezwzględne charakteryzuje się wysokimi sumami opadów atmosferycznych. Średnie sumy rocznych opadów przekraczają tutaj 1400 mm. W skali roku największe sumy opadów przypadają na miesiące letnie. Dla piętra chłodnego średnie wartości opadu w czerwcu wynoszą 255 mm, w lipcu 245 mm. W piętrze umiarkowanie ciepłym wynoszą odpowiednio po 150 mm (Hess 1965). Opady atmosferyczne należą do najważniejszych czynników aktywnych uruchamiających osuwiska w Karpatach fliszowych.

2.4.4. WODY PODZIEMNE I POWIERZCHNIOWE

Obszar badań odwadniany jest przez Żabniczanekę. Ma ona przebieg NW–SE i nawiązuje do głównych struktur morfologicznych. Dolny i środkowy odcinek charakteryzuje się małą liczbą dopływów. W górnej części Żabniczanek przyjmuje szereg cieków odwadniających doliny grzbietu głównego stanowiącego zamknięcie zlewni. Wspomniane cieki spływają koncentrycznie i łączą się na stosunkowo krótkim odcinku.

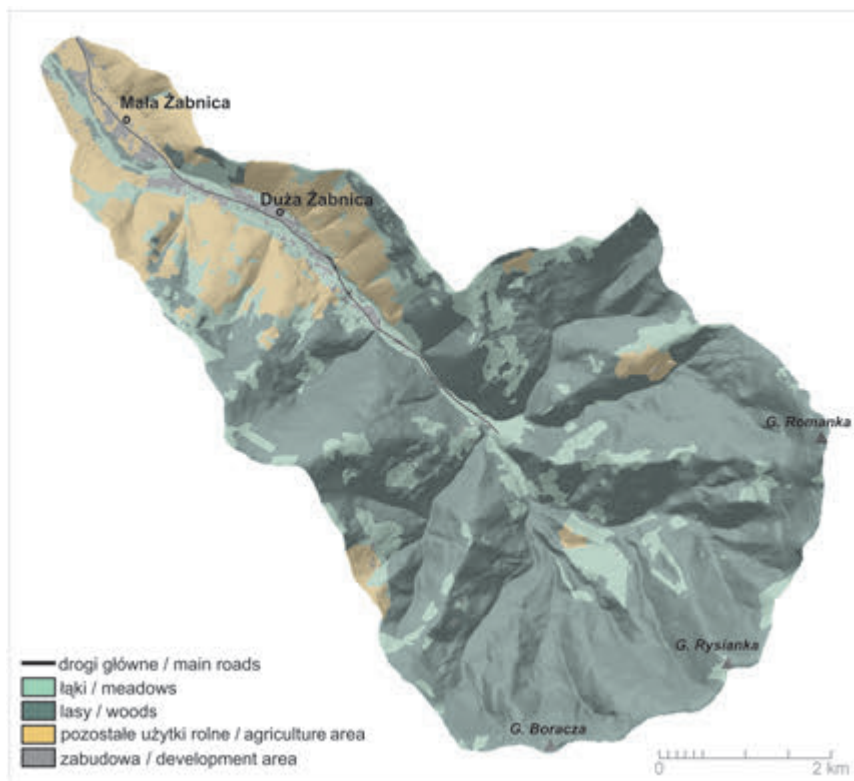
Żabniczanek odznacza się typowym dla rzek zachodnio karpaccich deszczowo-śnieżnym reżimem hydrologicznym. W ciągu roku w okresie wiosenno-letnim występują tu dwie kulminacje przepływu. Pierwsza, wyższa związana jest z tajaniem pokrywy śnieżnej i ma miejsce przeważnie w kwietniu oraz druga, niższa związana z opadami atmosferycznymi w czerwcu i lipcu (Chełmicki i in., 1998–1999).

Wody podziemne, podobnie jak w pozostałych obszarach fliszowych, występują tu przede wszystkim w aluwiach i zwietrzelinach na stokach oraz w podłożu skalnym. Utwory zwietrzelinowe wykazują zmienne zawodnienie, wyraźnie zwiększone w rejonach osuwiskowych, nie tworząc z reguły ciągłych poziomów wodonośnych. Wody z utworów czwartorzędowych łączą się zazwyczaj z wodami podłoża fliszowego (Zabuski i in. 1999).

2.4.5. UŻYTKOWANIE TERENU

Zlewnia Żabnicy, dzięki dużym deniwelacjom, wysokościami bezwzględnym oraz stromo nachylnym stokom, jest stosunkowo słabo przekształcona przez człowieka. Zabudowa zwarta skupia się jedynie w dnie doliny, w północnym jej odcinku. W tej części zlewni na stokach występują również pola uprawne oraz użytki zielone, które zajmują niespełna 15% powierzchni zlewni. W środkowej i południowej części obszaru badań dominują lasy bukowo-jodłowe oraz świerk. Zajmują one powierzchnię 25 km², co stanowi 67% powierzchni obszaru. Pozostałe 18% przypada na łąki oraz zabudowę gospodarczą (ryc. 13). W związku z chorobami drzewostanów

świerkowych w Beskidzie Żywieckim prowadzona jest w ostatnich latach ich wycinka i zastępowanie pierwotnymi zbiorowiskami leśnymi. Sytuacja taka ma również miejsce w zlewni Żabnicy, co stwierdzono podczas badań terenowych.



Ryc. 13. Użytkowanie terenu. Obszar badawczy – Beskid Żywiecki
Land use of the study area in the Beskid Żywiecki Mts.

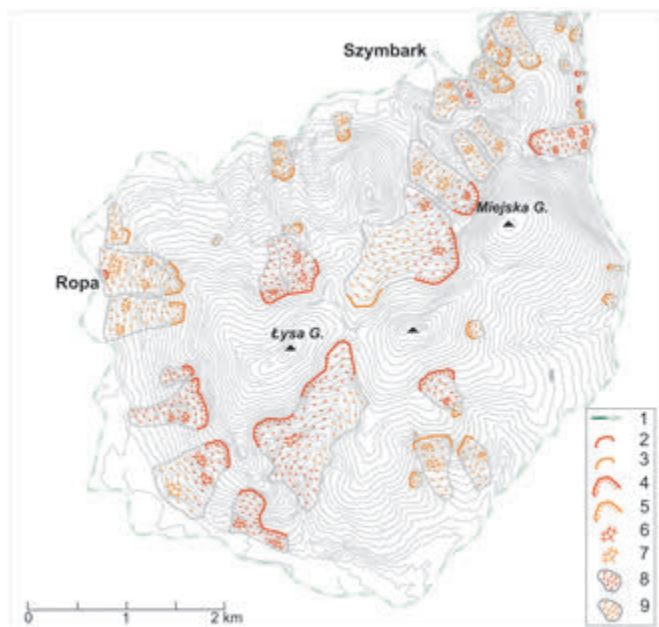
3. PRZEKSZTAŁCENIA STOKÓW PRZEZ RUCHY MASOWE NA WYBRANYCH OBSZARACH KARPAT FLISZOWYCH

Ruchy osuwiskowe należą do procesów powszechnie występujących w polskich Karpatach fliszowych, których udział w transformacji stoków jest znaczący. Występuje tu również duże ich zróżnicowanie pod względem wielkości, typu oraz rodzaju przemieszczanego materiału. Ta różnorodność ruchów osuwiskowych jest wynikiem skomplikowanej litologii i tektoniki, urozmaiconej rzeźby terenu, zmiennych warunków hydrogeologicznych oraz zróżnicowania pozostałych czynników pasywnych warunkujących powstawanie tego typu form. Na rozmieszczenie osuwisk w Karpatach mają również wpływ czynniki aktywne, wśród których do najważniejszych należą opady atmosferyczne mające różny rozkład przestrzenny oraz zmienne natężenie.

W celu przedstawienia i charakterystyki ruchów osuwiskowych w poszczególnych częściach Karpat fliszowych wytypowano cztery obszary badań, na których przeprowadzono szczegółowe badania. Dla każdego z wytypowanych obszarów przeprowadzono szczegółowe kartowanie geomorfologiczne. Efektem prac terenowych jest mapa osuwisk oraz dołączona do niej baza danych zawierająca podstawowe informacje na temat wyznaczonych form.

3.1. BESKID NISKI

Badania terenowe w Beskidzie Niskim przeprowadzono w lipcu 2006 r. Na obszarze o powierzchni 22,8 km² rozpoznano 43 osuwiska o łącznej powierzchni 515 ha (ryc. 14). Formy tu występujące to głównie głębokie osuwiska skalno-zwietrzelinowe lub skalne. W kilku przypadkach przemieszczony materiał stanowiła jedynie zwietrzelina. Według przyjętej klasyfikacji D.J. Varnesa (1978) na badanym obszarze dominują zsuwy rotacyjne o wyraźnie wykształconych skarpach oraz dobrze widocznych wałach i nabrzmieniach koluwalnych. Jeden zsuw zakwalifikowano do przemieszczeń typu translacyjnego. Przeważają jednak zsuwy rotacyjne, których powierzchnia kształtuje się w granicach od 0,2 ha do 313 ha, długość wynosi 40–800 m, szerokość sięga 30–400 m, a wysokość skarp osuwiskowych niejednokrotnie przekracza 30 m. Średnia powierzchnia osuwiska wynosi tu 12 ha, średnia długość dochodzi do 370 m, a szerokość 255 m, natomiast średnia wysokość skarp nie przekracza 15 m.



Ryc. 14. Mapa osuwisk obszaru badawczego – Beskid Niski. 1 – granica obszaru badań, 2 – skarpa osuwiska do 15 m, aktywna, 3 – skarpa osuwiska do 15 m, ustabilizowana, 4 – skarpa osuwiska pow. 15 m, aktywna, 5 – skarpa osuwiska pow. 15 m, ustabilizowana, 6 – większe wały i nabrzmienia osuwiskowe, ustabilizowane, 7 – większe wały i nabrzmienia osuwiskowe, aktywne, 8 – koluwia aktywne, 9 – koluwia ustabilizowane

Landslide map of the study area in the Beskid Niski Mts. 1 – border of the study area, 2 – scarps < 15 m, active, 3 – scarps < 15 m, stable, 4 – scarps > 15 m, active, 5 – scarps > 15 m, stable, 6 – landslides swells, stable, 7 – landslides swells, active, 8 – colluvium, active, 9 – colluvium, stable

Osuwiska rozmieszczone są równomiernie, jedynie w południowo-wschodniej części terenu jest ich wyraźnie mniej. Generalnie można wyróżnić dwie strefy osuwisk. Pierwsza z nich skupia formy położone bliżej koryta Ropy i Bielanki. Dominują tu formy duże, stokowe rozciągające się niejednokrotnie od wierzchołki po dno doliny. Największe z nich powstały na zboczach doliny Ropy założonej na tym odcinku na uskoku tektonicznym. Erozyjna działalność rzeki oraz ruchy tektoniczne mogły mieć decydujące znaczenie w wykształceniu form osuwiskowych w tym obszarze. W większości przypadków osuwiska mają dobrze wykształcone skarpy. Jedynie w obrębie kilku osuwisk nie zachowały się skarpy, pomimo dobrze widocznych wałów koluwiów.

Jedną z lepiej rozpoznanych i charakterystycznych form w badanym obszarze jest osuwisko Hucisko położone na wschodnim zboczu doliny Bielanki (ryc. 15). Jest to subsekwentny zsuw skalno-zwietrzelinowy. Osu-

wisko ma dobrze wykształconą skarpę której wysokość przekracza 30 m, wały koluwalne schodzą do doliny Bielanki i wraz z osuwiskiem Zapadle położonym po przeciwnej stronie doliny zakleszczają koryto Bielanki. Druga strefa osuwisk obejmuje odcinki źródłowe bocznych dopływów Ropy. Występują tu rozległe powierzchnie osuwiskowe złożone z zespołu kilku mniejszych form, których granice się zatarły, bądź są trudne do rozpoznania. Osuwiska tej strefy również mają dobrze widoczne skarpy skalne wykształcone w obrębie piaskowców magurskich.



Ryc. 15. Plan osuwiska Hucisko (S6) w Beskidzie Niskim. 1 – skarpa osuwiska pow. 20 m, 2 – skarpa osuwiska do 20 m, 3 – większe wały i nabrzmienia koluwalne, 4 – wyrównane powierzchnie osuwiska, 5 – wysięki wód, 6 – rozcięcia erozyjne, 7 – rumowisko, 8 – droga, 9 – ciek

Sketch of Hucisko landslide located in the Beskid Niski Mts. 1 – landslide scarps > 20 m, 2 – landslide scarps < 20 m, 3 – landslide swells, 4 – flat surface of colluvium, 5 – effluent seepages, 6 – erosional dissections, 7 – rubbles, 8 – road, 9 – stream

Średnie nachylenie stoku osuwiskowego w badanym obszarze wynosi 13° i waha się od 8° do 18° . Zbocza zajęte przez zsuwy mają w większości przypadków ekspozycję NW, NE oraz SE. Sprawą otwartą pozostaje wiek charakteryzowanych form. Na badanym obszarze nie prowadzono datowań, które pozwoliłyby wyznaczyć okres, w którym osuwiska powstały. Są to na pewno formy stare, jedynie w dolinie Bielanki występują osuwiska młodsze. Badania przeprowadzone w tym regionie na osuwisku Szymbark-Kamionka wykazały dużą aktywność osuwisk na pograniczu okresów borealnego i atlantyckiego (C^{14} 8210 ± 150 lat), (Gil i in. 1974).

Osuwiska położone w tej części Beskidu Niskiego, to w większości formy ustabilizowane, bez wyraźnych śladów odmłódzeń. Aby wykazać faktyczny stan aktywności osuwisk należałoby przeprowadzić badania inklinometrem w dłuższym okresie. Osuwiska aktywne rozpoznano po śladach widocznych na stoku, takich jak spękania, wygięcia słupów, szkody w infrastrukturze oraz odmłódzenia w obrębie skarp (fot. 2). Zsuwy aktywne lub częściowo aktywne występują w południowo-zachodniej części regionu oraz w strefie środkowej. Odmłódzenia osuwisk widoczne są głównie w obrębie skarp skalnych, które na pewnych odcinkach wyraźnie się cofają.



Fot. 2 . Ślady aktywności osuwisk w Beskidzie Niskim
Landslide activity in the Beskid Niski Mts.

Górne części osuwisk oraz nisze porośnięte są lasem bukowym lub bukowo-jodłowym. Dolne części zsuwów oprócz zbiorowisk leśnych zajmują łąki oraz w niewielkim stopniu pola uprawne. Strefy osuwiskowe, a szczególnie skarpy osuwisk charakteryzują się występowaniem wysięków wody oraz podmokłości.

3.2. POGÓRZE DYNOWSKIE

Prace terenowe na Pogórzu Dynowskim, w rejonie Sędziszowa Małopolskiego, przeprowadzono w dwóch terminach, jesienią 2006 r oraz wiosną 2007 r. Na obszarze o powierzchni blisko 37,3 km² rozpoznano 164 formy będące efektem różnego typu ruchów masowych, o łącznej powierzchni 127,3 ha (ryc. 16). Wśród nich najliczniejszą grupę tworzą zsuwy rotacyjne (99 form). Występują również podcięcia zboczy (24 formy), spływy błotne (20 formy), zsuwy translacyjne (8 form), zerwy z osiadania (6 form) oraz spływy gruzowo-błotne (4 formy).

Nazwa podcięcie zbocza została użyta w celu określenia form powstałych w bezpośredniej bliskości koryta, mających cechy spływu, bądź płytkiego zsuwu zwietrzelinowy (fot. 3). Bezpośrednim impulsem w powstawaniu tego typu form było zaburzenie stanu równowagi zbocza przez podcięcie go przez wezbrany potok. Opisywane formy powstały głównie w obrębie zwietrzelin, w różnych partiach stoku (142 formy). Jedynie 22 osuwiska to zsuwy skalno-zwietrzelinowe o wyraźnych skarpach.



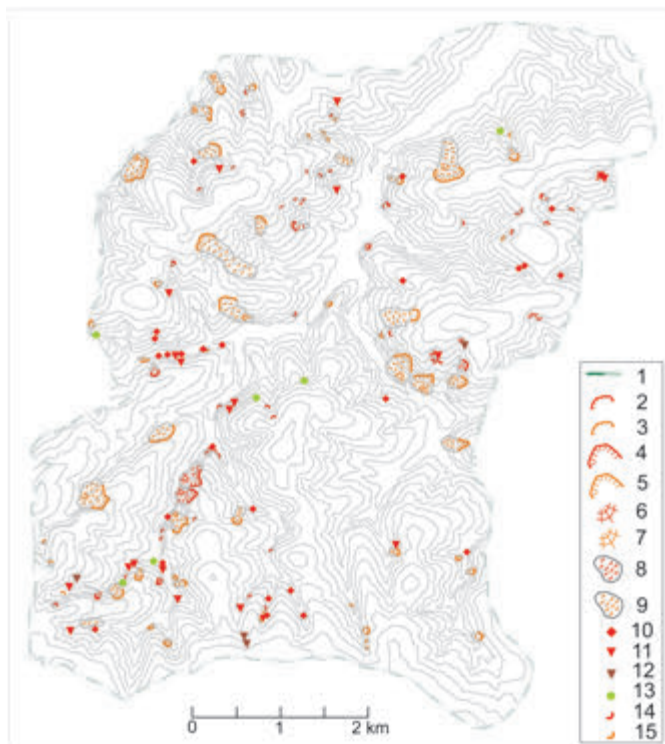
Fot. 3. Podcięcie erozyjne w zlewni Budzisz na Pogórzu Dynowskim. Forma powstała w czerwcu 2006 r
Erosion undercut in the Budzisz catchment in the Dynowskie Foothills. The form arise in June 2006

Na badanym obszarze występuje duże zróżnicowanie form pod względem genetycznym jak i morfometrycznym. Średnie wartości długości, szerokości maksymalnej oraz wysokości skarp dla poszczególnych typów przemieszczeń grawitacyjnych przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wybrane parametry morfometryczne form osuwiskowych

Typ form	długość			szerokość			wysokość skarp (m)		
	średnia	max	min	średnia	max	min	średnia	max	min
podcięcie zbocza	9,28	30	3	8,16	25	3	0,708	4,0	0
spływ błotny	9,76	20	3	8,28	30	2	0,764	1,5	0
zerwa z osiadania	13,00	40	5	11,33	30	2	0,566	1,0	0,4
zsuw rotacyjny	96,63	450	4	66,97	300	4	2,627	15,0	0
zsuw translacyjny	43,12	70	20	36,25	60	20	0,750	1,5	0
spływ gruzowo-błotny	9,25	15	7	12,5	30	2	0,750	1,5	0

Duże zróżnicowanie wielkości poszczególnych form występuje głównie w obrębie zsuwów rotacyjnych, których jest najwięcej. Związane jest to z różnymi warunkami środowiskowymi, w jakich te formy powstawały oraz ze zróżnicowaniem czynników pasywnych kształtujących ich rozwój. Osuwiska tego typu rozmieszczone są na obszarze badań równomiernie, jedynie w południowo-wschodniej części jest ich mniej. Powierzchnia zsuwów rotacyjnych wynosi od 0,02 ha do 13 ha przy średniej 1,25 ha. Wśród omawianych form dominują osuwiska stare, o nieznanym wieku. Część zsuwów powstała w czasie wezbrania w korycie Budzisa w czerwcu 2006 roku (28 osuwisk). Osuwiska rotacyjne na badanym obszarze wykształciły się w obrębie stoków o zróżnicowanej ekspozycji z przewagą form na stokach o wystawie NW, NE oraz W. Średnie nachylenie stoków w obrębie zsuwów rotacyjnych wynosi 16,5⁰ i waha się od 7⁰ do blisko 35⁰. Wśród omawianych form 48 to osuwiska ustabilizowane, w obrębie których nie stwierdzono śladów odmłodeń, pozostałe 51 zsuwów to formy aktywne, powstałe głównie podczas wezbrania w czerwcu 2006 roku. Zdecydowana większość płytkich zsuwów zwietrzeliń jak i głębokich osuwisk skalno-zwietrzelinowych powstała w lesie lub w obrębie zbiorowisk leśno łąkowych. Część zsuwów wykształciła się również w obrębie użytków rolnych stanowiąc problem dla działalności gospodarczej człowieka.

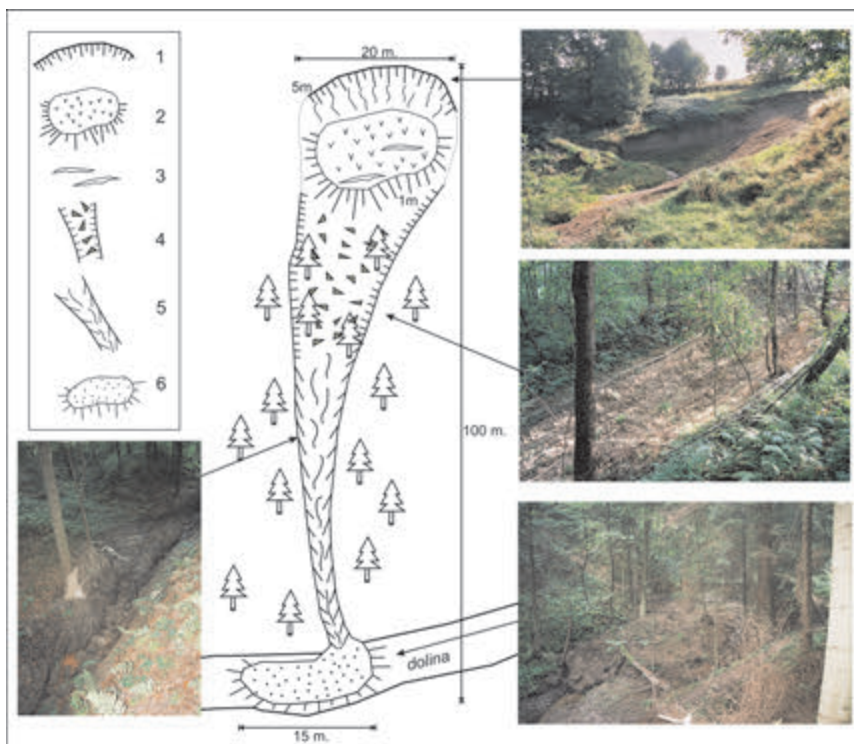


Ryc. 16. Mapa ruchów masowych obszaru badawczego – Pogórze Dynowskie. 1 – granica obszaru badań, 2 – skarpa osuwiska < 5 m, aktywna, 3 – skarpa osuwiska < 5 m, ustabilizowana, 4 – skarpa osuwiska > 5 m, aktywna, 5 – skarpa osuwiska > 5 m, ustabilizowana, 6 – większe wały i nabrzmienia osuwiskowe, ustabilizowane, 7 – większe wały i nabrzmienia osuwiskowe, aktywne, 8 – koluwia, aktywne, 9 – koluwia ustabilizowane, 10 – podcięcia erozyjne, 11 – spływy błotne, 12 – spływy gruzowo-błotne, 13 – zerwy z osiadania, 14 – niewielkie zsuwy zwietrzliny, aktywne, 15 – niewielkie zsuwy zwietrzliny, ustabilizowane

Landslide map of the study area in the Beskid Niski Mts. 1 – border of the study area, 2 – scarps < 5 m, active, 3 – scarps < 5 m, stable, 4 – scarps > 5 m, active, 5 – scarps > 5 m, stable, 6 – landslides swells, active, 7 – landslides swells, stable, 8 – colluvium, active, 9 – colluvium, stable, 10 – erosional undercuts, 11 – mudflows, 12 – debris – mudflows, 13 – subsidence land-slump, 14 – small landslides, active, 15 – small landslides, stable

Formy powszechnie występujące w badanym obszarze to również podcięcia zboczy oraz spływy błotne i gruzowo-błotne. Są to niewielkie zsuwy wykształcone w obrębie zwietrzliny o miąższości nie przekraczającej jednego metra. Większość z nich powstała w czasie wezbrania w czerwcu 2006 roku. Podcięcia erozyjne wykształciły się na zboczach dolin w strefie przykorytowej. W ich następstwie powstały niewielkie zsuwy oraz spływy zwietrzliny. Formy tego typu występują na zboczach o przeważającej ekspozycji NW, NE oraz N o średnich nachyleniach 18° . Ich średnia powierzchnia wynosi 0,02 ha, a maksymalne wartości dochodzą do 0,06

ha. Podcięcia erozyjne w badanym obszarze to formy aktywne, dobrze widoczne w krajobrazie, w większości przypadków położone w lesie. Spływy błotne to również formy świeże, które powstały w czasie intensywnych opadów w czerwcu 2006 roku. Mają niewielkie rozmiary, a ich średnia powierzchnia wynosi 0,4 ha (ryc. 17). Powstały na stokach o zróżnicowanej ekspozycji i o średnim nachyleniu $20,5^{\circ}$. Formy tego typu położone są głównie w lesie.



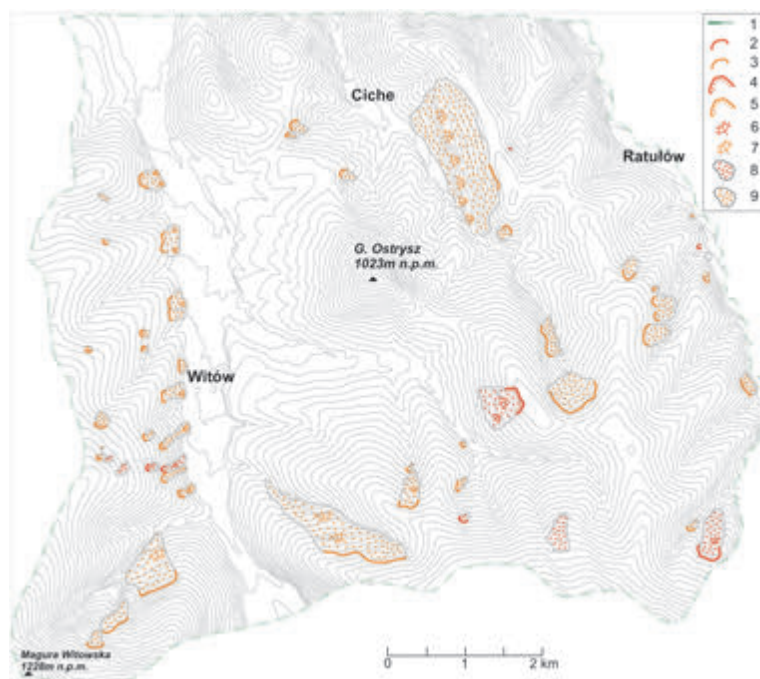
Ryc. 17. Schemat spływu błotnego na Pogórze Dynowskim. Forma powstała w czerwcu 2006 r. 1 – skarpa (miejsce oderwania materiału), 2 – przemieszczony pakiet zwietrzliny, 3 – szczeliny, 4 – spływ gruzowo-błotny, 5 – spływ błotny, 6 – materiał zdeponowany

Sketch of mudflow located in the Dynowskie Foothills which occur in June 2006. 1 – scarp, 2 – moved “island” of weathered material, 3 – crevices, 4 – mud and debris flow, 5 – mudflow, 6 – deponed material

3.3 PODHAŁE (POGÓRZE GUBAŁOWSKIE)

Kartowanie osuwisk w zachodniej części Podhala przeprowadzono jesienią 2007 roku. Na obszarze o powierzchni $64,4 \text{ km}^2$ rozpoznano 51 form osuwiskowych o łącznej powierzchni 411 ha (ryc. 18). Według przyjętej

klasyfikacji D.J. Varnesa (1978) występują tu zsuwy rotacyjne (35 form) oraz zsuwy translacyjne (17 form). Przeważają osuwiska zwietrzelinowe (22), skalno-zwietrzelinowe (22) oraz zsuwy skalne (5). Morfometria osuwisk zachodniego Podhala jest wyraźnie zróżnicowana (tab. 3). Powierzchnia zsuwów zawiera się w granicach od 0,3 ha do 120 ha, średnia wartość wynosi 8 ha.



Ryc. 18. Mapa osuwisk. Obszar badawczy – zachodnie Podhale. 1 – granica obszaru badań, 2 – skarpa osuwiska < 5 m, aktywna, 3 – skarpa osuwiska < 5 m, ustabilizowana, 4 – skarpa osuwiska > 5 m, aktywna, 5 – skarpa osuwiska > 5 m, ustabilizowana, 6 – większe wały i nabrzemia osuwiskowe, ustabilizowane, 7 – większe wały i nabrzemia osuwiskowe, aktywne, 8 – koluwia osuwiskowe, aktywne, 9 – koluwia osuwiskowe ustabilizowane
Landslide map of the study area in the western Podhale. 1 – border of the study area, 2 – scarps < 5 m, active, 3 – scarps < 5 m, stable, 4 – scarps > 5 m, active, 5 – scarps > 5 m, stable, 6 – landslides swells, active, 7 – landslides swells, stable, 8 – colluvium, active, 9 – colluvium, stable

Tabela 3. Wybrane parametry morfometryczne osuwisk obszaru badań na zachodnim Podhalu

Typ formy	długość			szerokość			wysokość skarp (m)		
	średnia	max	min	średnia	max	min	średnia	max	min
zsuw rotacyjny	248,7	660	40	212,8	640	30	2,7	15	0
zsuw translacyjny	231,2	530	30	335,3	2010	15	1,3	4	0

Osuwiska rozmieszczone są równomiernie w całym obszarze badań. Można jednak wyznaczyć dwie strefy różniące się od siebie typem oraz wielkością występujących tam form. Zespół zsuwów rotacyjnych oraz translacyjnych, zwietrzelinowych i skalno-zwietrzelinowych występuje w zachodniej części obszaru badań na północno-wschodnich i wschodnich zboczach doliny Czarnego Dunajca. Strefa osuwisk ciągnie się pasem o długości 4 km wzdłuż doliny. Zsuwy występują w dolnych partiach zboczy w bezpośredniej bliskości terasy Dunajca. Osuwiska w tej strefie są mniejsze od pozostałych zsuwów występujących w obszarze badań i położone są blisko siebie. W górnych częściach stoku, w połowie jego długości wykształciły się niewielkie, płytkie zsuwy zwietrzelinowe typu translacyjnego. Ich powierzchnia nie przekracza 5 ha. Formy tego typu mają niewielkie rozmiary, do 180 m długości, 100 m szerokości, często nie posiadają skarp. Powstały na stokach o ekspozycji NE i E o nachyleniach do 10°. Są to osuwiska młode lecz ustabilizowane, w obrębie których nie stwierdzono śladów odmłodeń.

Druga strefa osuwisk obejmuje rejony położone w południowej oraz wschodniej części obszaru badań. Zsuwy rozmieszczone są tutaj nieregularnie i charakteryzują się dużym zróżnicowaniem morfometrycznym. Dominują duże osuwiska skalno-zwietrzelinowe, których powierzchnia dochodzi do 120 ha, długość przekracza 700 m, a maksymalna szerokość wynosi 1900 m. Przykładem tego typu formy jest osuwisko w Cichem (ryc. 19). Jest to zsuw skalno-rumoszowy, konsekwentno-strukturalny (Bober i in. 1997). Forma ta jest bardzo ciekawa pod względem geomorfologicznym. Zsuw zajmuje powierzchnie prawie całego stoku na długości blisko 2 km. Od północnego-zachodu, w kierunku południowo-wschodnim, ciągnie się wał koluwiów zwiększający swoją wysokość w górnej części doliny do 30 m. Wał ten prawdopodobnie spowodował zatarasowanie dna doliny, a potok płynący w tym odcinku wciął się w koluwia. W skład koluwiów wchodzi odłukt kry oraz bloki piaskowca, rumosz piaskowcowo-łupkowy oraz glina z rumoszem. Forma nie ma skarpy głównej, jedynie na niewielkim odcinku w górnych partiach stoku można zaobserwować rowy dochodzące do 3 m głębokości. Jest to zsuw stary, w dużej mierze ustabilizowany,



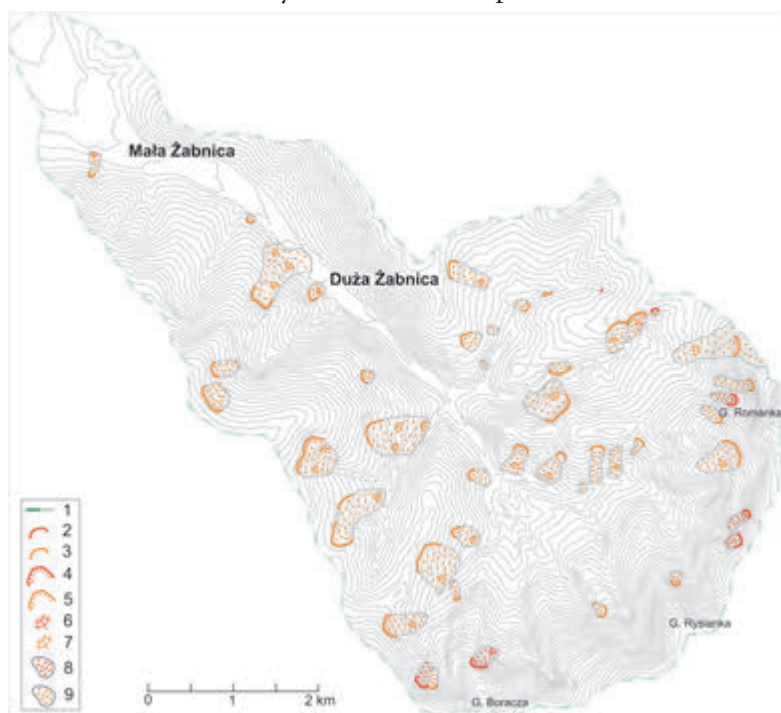
Ryc. 19. Plan osuwiska w Cichem. 1 – wyraźna skarpa i krawędzie osuwiska, 2 – skarpa słabo widoczna, 3 – podłużne wały osuwiskowe, 4 – większe nabrzmienia osuwiskowe, 5 – rozcięcia erozyjne, 6 – wysięki wód, 7 – jeziorka, 8 – potoki
 Sketch of landslide in Ciche village. 1 – good visible scarps, 2 – poorly visible scarps, 3 – elongated landslide swells, 4 – bigger landslide swells, 5 – erosional dissections, 6 – effluent seepages, 7 – landslide lakes, 8 – streams

lokalnie i okresowo aktywny. Jednoznaczne określenie przyczyn powstania osuwiska jest bardzo trudne. Na uruchomienie mas skalno-zwierzelinowych złożyły się prawdopodobnie takie czynniki, jak: opady atmosferyczne, erozja rzeczna oraz korzystny upad skał względem nachylenia stoku. Pewne znaczenie mogły mieć również ruchy tektoniczne oraz trzęsienia ziemi powszechne w tym obszarze (Guterch i in. 2002).

Pozostałe osuwiska występujące w obszarze badań to formy zróżnicowane pod względem typu i wielkości. Osuwiska zachodniego Podhala są w większości formami starymi i ustabilizowanymi jedynie lokalnie odmładzanymi. Średnie nachylenie stoku osuwiskowego wynosi tu 10° i waha się od 7 do 15° . Zsuwy położone w południowej części regionu porastają lasy. W obrębie większości form, a zwłaszcza płytkich zsuwów zwierzelinowy szatę roślinną stanowią łąki oraz pastwiska.

3.4. BESKID ŻYWIECKI (ŻABNICA)

Badania terenowe w zlewni Żabnicy, w Beskidzie Żywieckim przeprowadzono wiosną 2008 roku. W obszarze o powierzchni 36,4 km² wydzielono 45 osuwisk o łącznej powierzchni 325 ha (ryc. 20). Prawie wszystkie skartowane formy, z wyjątkiem jednej, zakwalifikowano do zsuwów rotacyjnych. Przeważają osuwiska skalno-zwietrzelinowe (35), występują również zsuwy skalne (7) oraz zwietrzelinowe (2). Powierzchnia osuwisk w badanym obszarze wynosi od 0,03 ha do ponad 45 ha. Dominują jednak formy większe powyżej 5 ha, a średnia wartość powierzchni zsuwów w zlewni Żabnicy to 7,2 ha. Pozostałe parametry morfometryczne zsuwów również wykazują duże zróżnicowanie. Długość osuwisk zawiera się w przedziale od 20 do ponad 800 m, przy średniej wartości 300 m. Maksymalna szerokość osuwisk wynosi od 25 m do ponad 600 m, średnio 215 m.



Ryc. 20. Mapa osuwisk. Obszar badawczy – Beskid Żywiecki. 1 – granica obszaru badań, 2 – skarpa osuwiska < 15 m, aktywna, 3 – skarpa osuwiska < 15 m, ustabilizowana, 4 – skarpa osuwiska > 15 m, aktywna, 5 – skarpa osuwiska > 15 m, ustabilizowana, 6 – większe wały i nabrzmienia osuwiskowe, ustabilizowane, 7 – większe wały i nabrzmienia osuwiskowe, aktywne, 8 – koluwia, aktywne, 9 – koluwia ustabilizowane

Landslide map of the study area in the Beskid Żywiecki Mts.. 1 – border of the study area, 2 – scarps < 15 m, active, 3 – scarps < 15 m, stable, 4 – scarps > 15 m, active, 5 – scarps > 15 m, stable, 6 – landslides swells, active, 7 – landslide swells, stable, 8 – colluvium, active, 9 – colluvium, stable

Wysokość skarpy osuwiskowych również jest zróżnicowana. Część form nie posiada tego elementu rzeźby, bądź ich granice są bardzo słabo widoczne. Natomiast osuwiska położone w górnych partiach zlewni posiadają dobrze widoczne skarpy, których wysokość maksymalna przekracza 30 m, a średnia wynosi 13 m.

Formy osuwiskowe w obszarze badań rozmieszczone są głównie w środkowej i górnej części zlewni. Strefa zajęta przez osuwiska rozpoczyna się w miejscu rozszerzenia doliny. Osuwiska występują tutaj w dwóch strefach. Pierwszą strefę stanowią formy położone wysoko w lejach źródłowych dolin zamykających zlewnię. Są to głównie osuwiska skalne i skalno-zwietrzelinowe o dobrze wykształconych skarpach. Mają cechy zerw skalnych, a ich koluwia złożone są głównie z bloków i głazów piaskowcowych. Miejscami, tak jak w przypadku osuwiska na północno-zachodnim stoku Romanki, w obrębie kuluwi występuje szereg skarpy wtórnych. Tego typu zsuwy występują również na północno-zachodnich stokach Lipowskiej czy Góry Boraczej. Opisywane formy to osuwiska stare w większości ustabilizowane, lecz w obrębie skarpy oraz w miejscach podcinanych przez potok okresowo aktywne.

Druga strefa osuwisk to doliny boczne Żabniczanki. Osuwiska występują tutaj na stokach o zróżnicowanej ekspozycji z przewagą stoków o wystawie NE oraz NW. Zsuwy tej części zlewni są również zróżnicowane pod względem morfometrii. W północnej i środkowej części regionu występują stosunkowo niewielkie osuwiska skalno-zwietrzelinowe o słabo widocznych skarpach z wyraźnymi wałami koluwiów. Większe formy o powierzchni często przekraczającej 20 ha grupują się w południowej części zlewni. Niejednokrotnie zajmują całą powierzchnię stoku, posiadają wyraźne skarpy, a koluwia osuwiskowe schodzą do dna doliny. Osuwiska w zlewni Żabnicy w większości przypadków pokryte są lasem lub łąkami. Zsuwy powstały na zboczach dolin, o zróżnicowanej ekspozycji o nachyleniu od 12 do 29°. Średnie nachylenie zboczy osuwiskowych wynosi 19°. Są to formy w większości ustabilizowane. Kilka zsuwów, z uwagi na położenie oraz cechy morfologiczne, wykazują dalsze możliwości ruchu.

Tabela 4. Wybrane parametry morfometryczne zsuwów rotacyjnych czterech obszarów badawczych

Obszar badań	długość			szerokość			wysokość skarp (m)			powierzchnia (ha)		
	średnia	max	min	średnia	max	min	średnia	max	min	średnia	max	min
Beskid Niski	370	800	40	255	400	30	15	35	0	12	313	0,2
Pogórze Dynowskie	96	450	4	67	300	4	2,6	15	0	1,25	13	0,2
Podhale	248	660	40	212	640	30	2,7	15	0	8	120	0,3
Beskid Żywiecki	300	800	20	215	600	25	13	40	0	7,2	45	0,03

4. OCENA PODATNOŚCI NA OSUWANIE

Ocenę podatności na osuwanie przeprowadzono w dwóch skalach przestrzennych: w **skali regionalnej**, dla całego obszaru polskich Karpat fliszowych oraz w **skali lokalnej**, w obrębie wytypowanych obszarów badań opisanych we wcześniejszych rozdziałach. Ze względu na zróżnicowaną skalę oraz dostępność materiałów źródłowych służących do analizy wartościowanie przeprowadzono z wykorzystaniem różnych metod badawczych. W obu przypadkach podstawą analizy były mapy czynników pasywnych kontrolujących ruchy osuwiskowe na danym obszarze. W zależności od skali opracowania, a tym samym możliwości wykorzystania określonych danych zastosowano odmienne metody analizy. Mapy podatności w obu przyjętych skalach wykonano z wykorzystaniem technik GIS w oparciu o program Ilwis 3.4 (*Integrated Land and Water Information System*).

4.1. OCENA PODATNOŚCI NA OSUWANIE W SKALI REGIONALNEJ

4.1.1. DANE PRZESTRZENNE UŻYTE W ANALIZIE I ZASTOSOWANA METODA

Mapę podatności na osuwanie polskich Karpat fliszowych wykonano pod kątem osuwisk strukturalnych, a więc zsuwów przebiegających wzdłuż określonej, naturalnej powierzchni geologicznej, których kierunek ruchu jest ściśle związany z budową geologiczną (Kleczkowski 1955).

Do określenia stopnia podatności na osuwanie obszaru polskich Karpat fliszowych wykorzystano mapy czynników pasywnych wpływających na ruchy masowe. Spośród nich wybrano dwa najważniejsze czynniki, tj. rzeźbę (nachylenia terenu) oraz litologię. Następnie wykonano mapy tematyczne: mapę nachyleń oraz mapę geologiczną polskich Karpat.

Mapę nachyleń dla obszaru Karpat polskich wygenerowano z cyfrowego modelu terenu Polski (DTED) o rozmiarze rastra 20 x 20 m (ryc. 21a). Opracowana mapa spadków terenu ma tą samą wielkość rastra. Dobór przedziałów nachyleń stoków oparto na instrukcji do kartowania geomorfologicznego (Klimaszewski 1968). Przedziały te zmodyfikowano z wykorzystaniem pozycji nowszych (Bober 1990; Zabuski i in. 1999). Przedziały nachyleń stoków oraz ich powierzchniowy udział w Karpatach polskich przedstawiono w tabeli 7.

Drugim czynnikiem pasywnym włączonym do analizy jest litologia. Dla obszaru Karpat polskich sporządzono mapę geologiczną w oparciu o arkusze *Mapy Geologicznej Polski* w skali 1:200 000 (ryc. 21b). Podczas digitalizacji wykorzystano arkusze mapy: Cieszyn (Ryłko, Paul 1992), Bielsko-Biała (Golonka i in. 1978), Nowy Sącz (Burtan i in. 1981), Tatry (Kotański i in. 1997), Jasło (Neścieruk i in. 1992), Przemyśl (Gucik i in. 1979), Rzeszów (Woiński 1988), Mielec (Jurkiewicz, Woiński 1979), Łupków (Ślaczka, Żyto 1978). Pozyskane dane zestawiono w formie wektorów i poligonów, a następnie sprowadzono do postaci rastrowej. Zachowano przy tym tą samą, jak w przypadku mapy nachyleń, wielkość rastra 20 x 20 m.

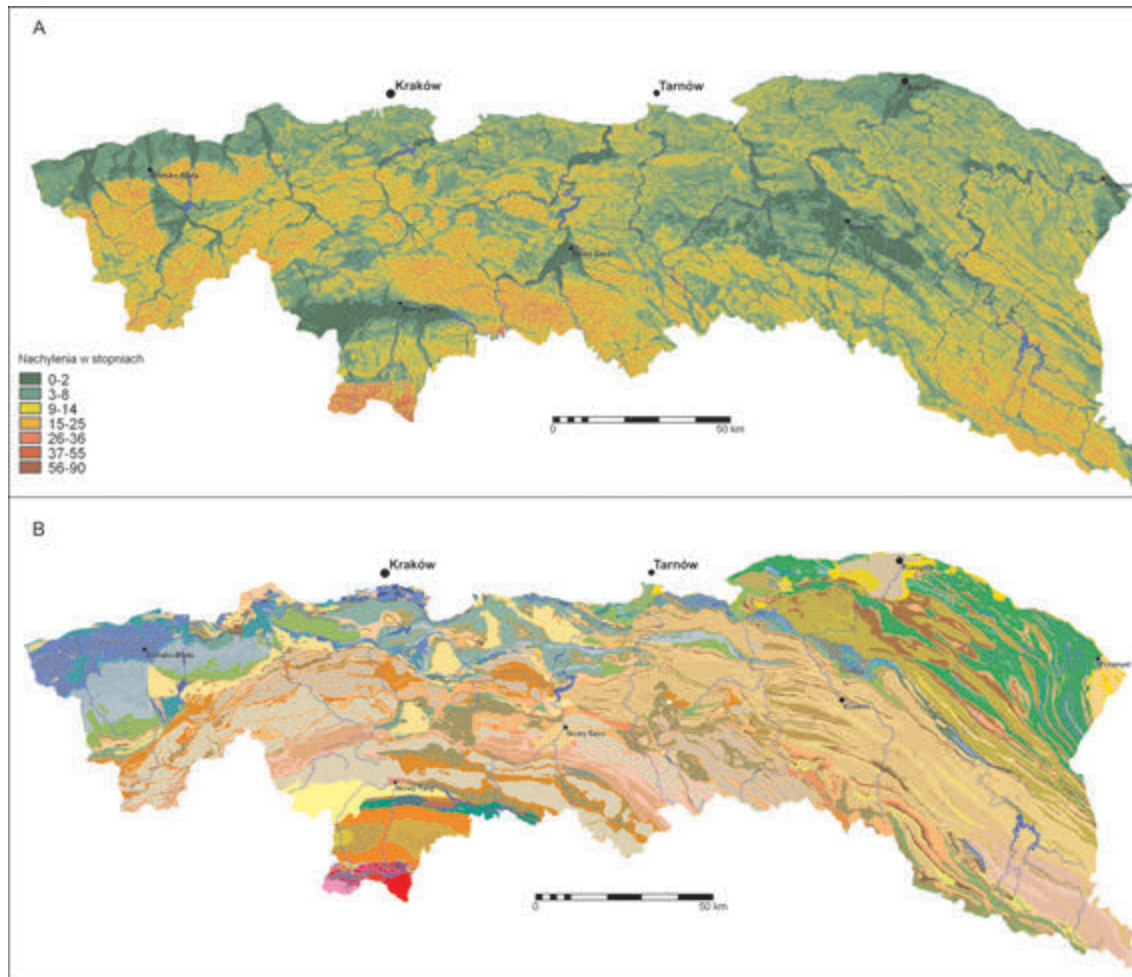
Opracowanie mapy podatności na osuwanie polegało na nadaniu poszczególnym przedziałom klas map tematycznych określonej wartości wagowej współczynnika podatności na osuwanie (W). Wartościowanie to wykonano w oparciu o literaturę (Bober 1984; Zabuski i in. 1999). Każdemu przedziałowi mapy nachyleń została przypisana wartość współczynnika „W” podatności na osuwanie. Przyjęto skalę punktową od 0 do 3 (tab. 5). Za obszary najbardziej podatne na osuwanie uznano stoki o nachyleniu 9–14° oraz w nieco mniejszym stopniu stoki o nachyleniu 15–25° (Bober 1990; Zabuski i in. 1999). W dalszej kolejności opracowano *Mapę nachyleń współczynnika W*.

Tabela 5. Udział powierzchniowy i procentowy poszczególnych przedziałów nachyleń stoków w Karpatach polskich oraz wartość współczynnika W

Nachylenia w °	Pow. km ²	Udział procentowy	Współczynnik W
0 do 2	2452,7	12%	0
3 do 8	7466,3	38%	1
9 do 14	5720,4	29%	3
15 do 25	3648,6	19%	2
26 do 36	379,3	2%	1
37 do 55	31,0	0%	1
56 do 90	1,0	0%	0

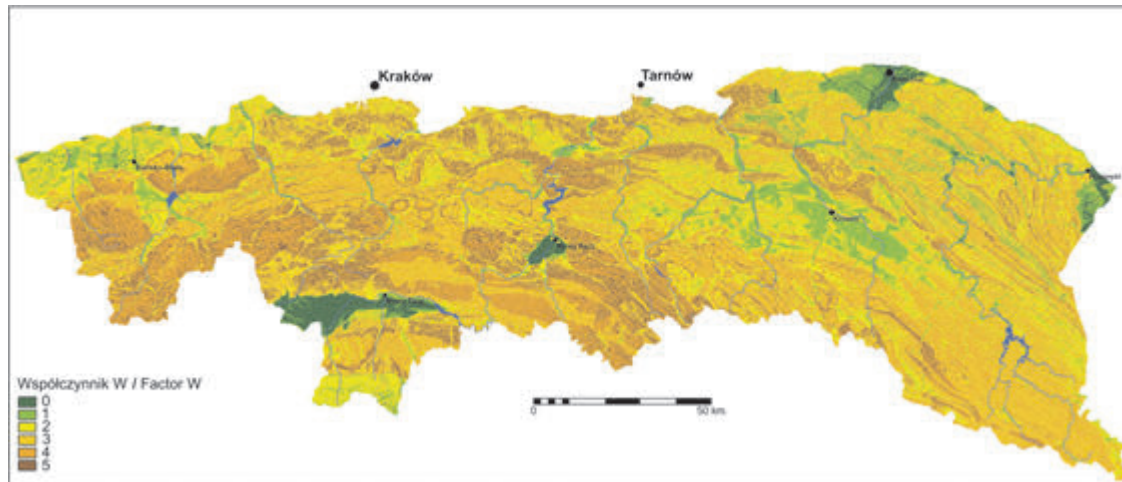
Podobne wartościowanie przeprowadzono dla mapy geologicznej Karpat. Przyjęto trzystopniową punktację współczynnika „W” od 0 do 2. Jednostki najbardziej podatne na osuwanie otrzymały 2 punkty, warstwy geologiczne niepodatne na osuwanie 0 punktów, pozostałym jednostkom fliszowym przypisano 1 punkt. Na tej podstawie sporządzono *Mapę geologiczną współczynnika „W”*.

Jednym z ostatnich etapów tworzenia mapy podatności na osuwanie Karpat polskich było połączenie map współczynnika „W” nachyleń i bu-

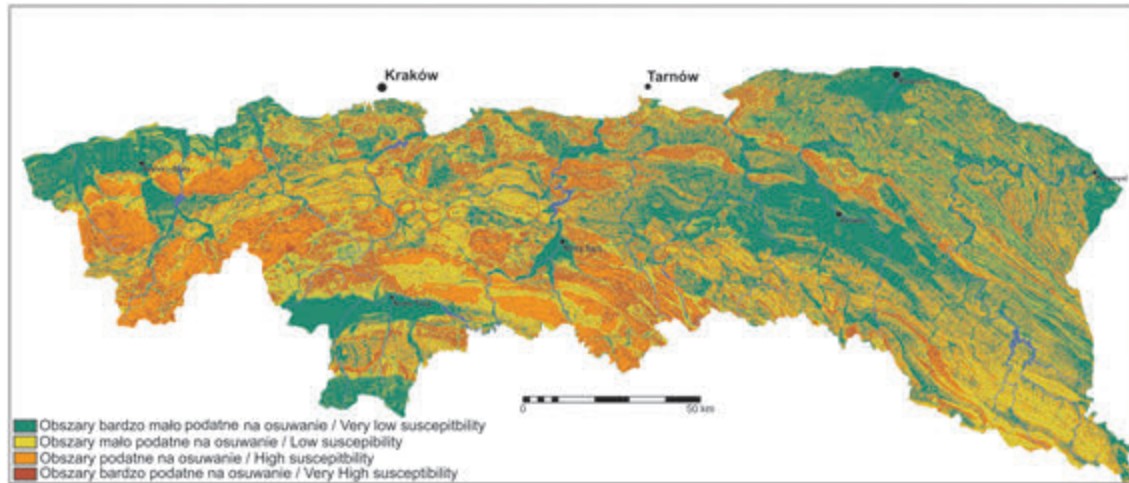


Ryc. 21. A - Mapa nachyleń Karpat polskich., B - Budowa Geologiczna Karpat polskich (Golonka i in. 1978, Ślącza, Żytko 1978, Gucik i in. 1979, Jurkiewicz, Woński 1979, Burtan i in. 1981, Woński 1988, Neścieruk i in. 1992, Ryłko, Paul 1992, Kotański i in. 1997)

A - Slope steepness map of Polish Carpathians., B - Geology of the Polish Carpathians (Golonka i in. 1978, Ślącza, Żytko 1978, Gucik i in. 1979, Jurkiewicz, Woński 1979, Burtan i in. 1981, Woński 1988, Neścieruk i in. 1992, Ryłko, Paul 1992, Kotański i in. 1997)



Ryc. 22. Mapa współczynnika W podatności na osuwanie Karpat polskich
Landslide susceptibility factor (w) map of polish Carpathians



Ryc. 23. Mapa podatności na osuwanie Karpat polskich
Landslide susceptibility map of Polish Carpathians

dowy geologicznej w jedną mapę współczynnika „W” podatności na osuwanie (ryc. 22). Powstała mapa posiadała pięciostopniową skalę wartości współczynnika „W”. Im wyższy współczynnik „W”, tym większa podatność na osuwanie. Następnie mapę przekształcono w ostateczną *Mapę podatności na osuwanie polskich Karpat fliszowych* (ryc. 23). Legendę mapy dobrano w ten sposób, aby obszary o nachyleniu w przedziale od 0 do 2° charakteryzowały się bardzo małą podatnością na osuwanie, bez względu na budowę geologiczną. Przyjęte przedziały współczynnika „W”, przy tworzeniu mapy podatności na osuwanie, zawarto w tabeli 6.

Tabela 6. Stopnie podatności na osuwanie i odpowiadające im wartości współczynnika „W”

Współczynnik W	Stopień podatności na osuwanie
0–2	Obszary bardzo mało podatne na osuwanie
3	Obszary mało podatne na osuwanie
4	Obszary podatne na osuwanie
5	Obszary bardzo podatne na osuwanie

4.1.2. MAPA PODATNOŚCI NA OSUWANIE POLSKICH KARPAT FLISZOWYCH

Opracowana mapa przedstawia obszary najbardziej podatne na ruchy osuwiskowe w Karpatach. Otrzymane wyniki potwierdzają tezę, że jest to obszar górski, gdzie ruchy osuwiskowe odgrywają bardzo istotną rolę w modelowaniu rzeźby oraz stanowią duży problem dla lokalnej ludności powodując straty w budownictwie i gospodarce. Ponad 7 tys. km² zajmują obszary podatne lub bardzo podatne na osuwanie (tab. 7). Stanowi to 36% powierzchni całych Karpat polskich. Obejmują one rejon, w których nachylenia terenu mieszczą się w przedziale od 9 do 14° oraz od 15 do 25°, zbudowane ze skał fliszowych podatnych na osuwanie o wykształceniu litologicznym piaskowcowym, łupkowo-piaskowcowym lub łupkowym. Obszary, dla których stwierdzono brak lub bardzo małe zagrożenie ruchami osuwiskowymi zajmują blisko 8 tys. km² i skupiają się głównie w kotlinach śródgórskich oraz dnach dolin, gdzie nachylenia terenu nie przekraczają 2°.

Na podstawie mapy podatności na osuwanie oraz cytowanej wyżej literatury można wytypować w Karpatach polskich kilka rejonów szczególnie predysponowanych pod kątem zagrożenia osuwiskowego (ryc. 24).

Tabela 7. Udział powierzchniowy poszczególnych przedziałów mapy podatności na osuwanie Karpat polskich

Stopień podatności na osuwanie	Powierzchnia w km ²
Obszary bardzo mało podatne na osuwanie	7772,8
Obszary mało podatne na osuwanie	4829,2
Obszary podatne na osuwanie	5087,1
Obszary bardzo podatne na osuwanie	2009,8

W obrębie płaszczowiny magurskiej obszarami bardzo podatnymi na ruchy osuwiskowe są: Beskid Śląski, Beskid Żywiecki i Wysoki, przełom Raby przez Beskid Średni, Beskid Wyspowy (Mszana Dolna, Limanowa), Beskid Niski (okolice Gorlic, wypiętrzenie między Szymbarkiem a Świątkową, wypiętrzenie Grybów-Ujście Gorlickie). Najbardziej podatne na tworzenie osuwisk są utwory eoceńskie, warstwy hieroglifowe i łupki pstrze oraz eoceńskie warstwy piaskowcowe, głównie piaskowce magurskie (Bober 1984).

Do najbardziej podatnych na osuwanie rejonów płaszczowiny śląskiej należą: Beskid Śląski i Mały, wypiętrzenie Dobczyc, pas Pogórza między Wieliczką a Bochnią, siodło Rożnowa, pasmo Brzanki i dolina Sanu. Na uwagę zasługuje również obszar położony na północ od Krosna zbudowany z utworów płaszczowiny podśląskiej. Osuwiska związane są tu przede wszystkim z występowaniem pstrych łupków z okresu cenomanu i senonu. Pozostałe rejony, gdzie wyraźnie wzrasta podatność na osuwanie, to tereny położone na południe od Dębicy (płaszczowina skolska) oraz rejon Podhala, a szczególnie jego wschodnia część.

Mapa podatności na osuwanie polskich Karpat fliszowych jest obrazem rozległego obszaru górskiego, o złożonej budowie geologicznej i urozmaiconej rzeźbie. Z tych względów należy traktować ją tylko jako materiał poglądowy. Sporządzenie dokładnej mapy tego typu dla obszaru Karpat z uwagi na różnorodność czynników osuwiskowych oraz złożoność procesu osuwania jest zadaniem bardzo trudnym.

Ryc. 24. A. Rejony najbardziej podatne na osuwanie w polskich Karpatach fliszowych.

1 – Beskid Śląski,

2 – rejon Babiej Góry, 3 – przełom Raby przez Beskid Średni, 4 – Beskid Wyspowy (rejon Limanowej),

5 – Beskid Niski (zach. część), 6 – Beskid Sądecki, 7 – Beskid Mały, 8 – Pogórze (rejon Dobczyc),

9 – siodło Rożnowa, 10 – pasmo Brzanki, 11 – Pogórze Dynowskie (na południe od Dębicy), 12 – Pogórze Strzyżowskie (na północ od Krosna), 13 – zachodnie Podhale, 14 – Beskid Żywiecki.

B. Rozmieszczenie osuwisk na obszarze polskich Karpat według rejestracji wykonanych w latach 1968–2000. Opracowanie

W. Rączkowski Oddział Karpacki PIG.

A. Regions in the Polish flysch Carpathians with very high landslides susceptibility. 1 – Beskid Śląski Mts., 2 – Babia Góra Mt., 3 – The gorge of the Raba river by the Beskid Średni Mts., 4 – Beskid Wyspowy Mts., 5 – west part of the Beskid Niski Mts., 6 – Beskid Sądecki Mts., 7 – Beskid Mały Mts., 8 – Foothills (Dobczyce region), 9 – Foothills (Rożnów region), 10 – The Brzanka ridge, 11 – Dynowskie Foothills, 12 – Strzyżowskie Foothills, 13 – west part of Podhale, 14 – Beskid Żywiecki Mts.

B. Map of landslides in the polish Carpathians according to landslide registration in years 1968–2000. Author W. Rączkowski, Geological National Institute.

4.2. OCENA PODATNOŚCI NA OSUWANIE W SKALI LOKALNEJ

4.2.1. DANE PRZESTRZENNE UŻYTE W ANALIZIE I ZASTOSOWANA METODA

W skali lokalnej, w celu opracowania mapy podatności na osuwanie zastosowano jedną z metod ilościowych. Badania składały się z dwóch etapów. Pierwszy stanowiły prace terenowe polegające na kartowaniu form osuwiskowych z wykorzystaniem map topograficznych w skali 1:10 000, formularza do kartowania osuwisk oraz GPS. Pełen zakres kartowania geomorfologicznego został omówiony w rozdziale pierwszym, natomiast wyniki badań terenowych przedstawiono w rozdziale trzecim.

Drugi etap badań polegał na analizie i opracowaniu wyników prac terenowych przy użyciu GIS. Podstawą analizy była w tym przypadku szczegółowa mapa osuwisk. Użyto metody „*landslide index method*” (Van Westen 1997 i in.). Metoda ta bazuje na następującej formule:

$$\ln W = \ln \left(\frac{\text{Densclas}}{\text{Densmap}} \right) = \ln \left(\frac{\frac{\sum \text{Npix}(S_i)}{\sum \text{Npix}(N_i)}}{\sum \text{Npix}(N_i)}}{\sum \text{Npix}(N_i)} \right)$$

W = 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(S_i) = liczba pixeli z osuwiskami w obrębie danej klasy mapy tematycznej

Npix(N_i) = suma pixeli w obrębie danej klasy mapy tematycznej

Jej głównym założeniem jest krzyżowanie mapy osuwisk danego terenu z poszczególnymi mapami tematycznymi czynników mających wpływ na osuwanie. Na tej podstawie możliwe jest obliczenie gęstości osuwiskowej poszczególnych klas map tematycznych i odniesienie jej do gęstości osuwiskowej na całej mapie.

Obliczenie wartości współczynnika „W” podatności na osuwanie odbywa się poprzez dzielenie gęstości osuwiskowej poszczególnej klasy mapy tematycznej przez gęstość osuwiskową na całej mapie. Logarytm naturalny jest użyty w celu nadania współczynnikowi „W” wartości ujemnej w przypadku mniejszej gęstości osuwiskowej oraz wartości dodatniej, gdy gęstość osuwiskowa jest większa od średniej. Kolejnym etapem prac jest przekwalifikowanie map tematycznych czynników osuwiskowych w mapy wagowe

współczynnika „W”. Po dodaniu ich do siebie otrzymujemy wstępną mapę podatności na osuwanie danego obszaru badań. Im wyższa wartość współczynnika, tym większa podatność na osuwanie. Ostatnim etapem pracy jest nadanie przyjętym klasom podatności na osuwanie określonych wartości współczynnika „W”.

W celu sporządzenia map podatności na osuwanie w skali lokalnej dla wytypowanych obszarów badań sporządzono mapy czynników pasywnych mających wpływ na rozwój osuwisk w polskich Karpatach fliszowych. Wybrano pięć najważniejszych czynników: budowę geologiczną, nachylenia terenu, kształt stoków, użytkowanie terenu oraz odległości od stref kontaktu warstw geologicznych. Czynniki te wybrano na podstawie literatury, uwzględniając zróżnicowanie warunków środowiskowych wszystkich regionów badawczych oraz różnorodność ruchów osuwiskowych tam występujących. Przy ich doborze kierowano się również dostępnością danych przestrzennych, które mogły być włączone do analizy. Wybrano te dane, których pozyskanie było możliwe w równym stopniu i na takim samym poziomie dokładności.

Ważnym elementem analizy było wykorzystanie cyfrowego modelu wysokościowego obszarów badań. Model taki został skonstruowany dla każdego obszaru badawczego w oparciu o te same metody i materiały źródłowe. W pierwszym etapie wykonano wektorową mapę poziomicy obszarów badań. Źródłem danych były mapy topograficzne w skali 1: 10 000 w układzie 92. Digitalizację poziomicy wykonano z dokładnością do 5 m. Następnie tak przygotowaną mapę zweryfikowano pod względem błędów, które mogły pojawić się w trakcie digitalizacji. Kolejnym krokiem był proces interpolacji warstw poziomicowych. Interpolacja liniowa została przeprowadzona w celu nadania obszarom położonym pomiędzy poziomiami określonych wartości wysokości bezwzględnych. Zastosowana metoda interpolacji bazuje na zasadzie Borgefora (*Ilwis User guide* 2001). Jej podstawą jest następująca formuła:

$$H_p = H_2 + (d_2 / (d_1 + d_2)) \times (H_1 - H_2)$$

– gdzie H_p oznacza obliczoną wysokość danego pixela, H_1 i H_2 to wartości liczbowe poziomicy wyższej i niższej, d_1 i d_2 to odległość danego pixela od poziomicy.

Efektem końcowym tej operacji jest mapa rastrowa, na której każdy raster posiada wartość wysokościową. Ostatnim etapem tworzenia cyfrowego modelu wysokościowego było nadanie wszystkim modelom tej samej wielkości rastra, którego wielkość wynosiła 10 x 10 m.

Opracowane modele wysokościowe czterech obszarów badań posłużyły do wizualizacji wyników badań oraz do opracowania mapy nachyleń. Mapy nachyleń terenu zostały wygenerowane za pomocą narzędzi programu Ilwis przy użyciu filtrów oraz formuły kalkulacyjnej. Przedziały nachyleń dobrano, tak jak w przypadku mapy nachyleń całych Karpat fliszowych na podstawie instrukcji do kartowania geomorfologicznego (Klimaszewski 1968) w modyfikacji o pozycje nowsze (Zabuski i in. 1999), (ryc. 25B, 26B, 27B, 28B).

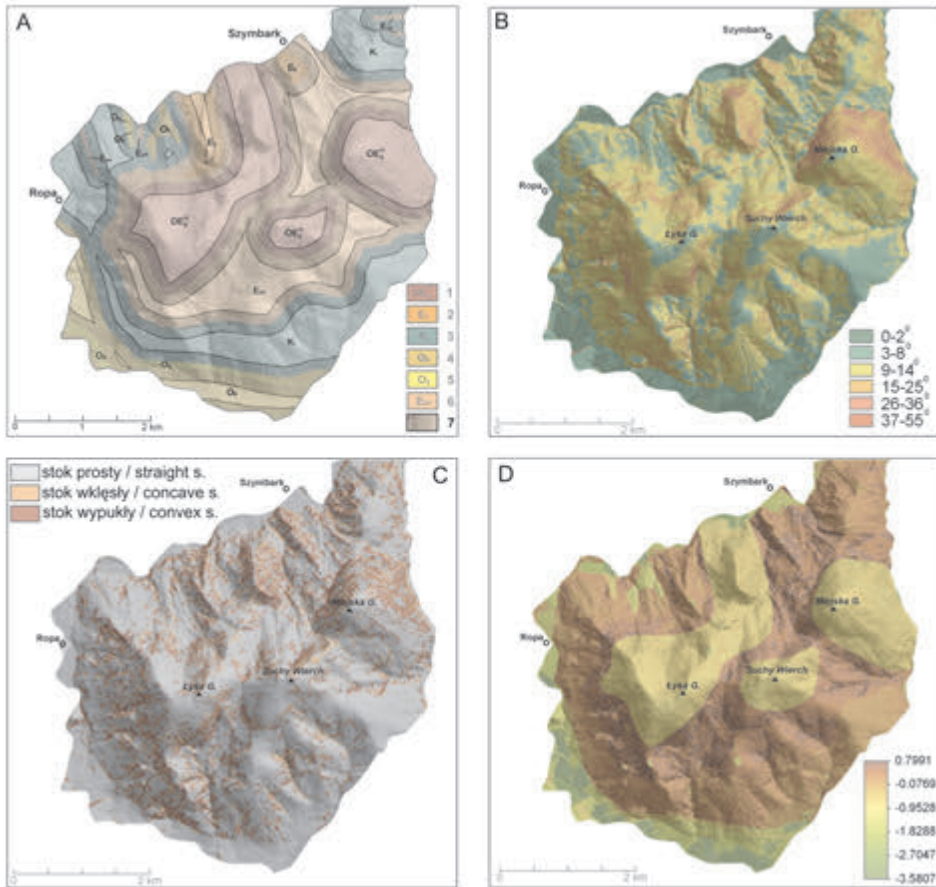
Modele wysokościowe posłużyły również do opracowania map kształtu stoków (ryc. 25C, 26C, 27C, 28C). Mapy tego typu tworzy się za pośrednictwem różnego rodzaju filtrów. Mają one na celu wykazanie, które partie stoku mają kształt wypukły, a które wklęsły. W opracowaniu tym użyto filtra D2FDXDY (Ilwis 3.4) analizującego cyfrowy model terenu w obu kierunkach x i y. Wartości dodatnie przefiltrowanej mapy (DEM) świadczą o stoku wklęsłym, wartości ujemne wskazują na stok wypukły.

Kolejnym ważnym elementem analizy była mapa geologiczna. Mapy tego typu zostały opracowane na drodze digitalizacji *Szczegółowych map geologicznych Polski* w skali 1: 50 000. Dla obszaru Beskidu Niskiego wykorzystano arkusz Gorlice (Sikora 1964), dla obszaru Pogórza Dynowskiego arkusze Frysztak (Jasionowicz i in. 1964) i Ropczyce (Jasionowicz, Kuciński 1965), dla obszaru Podhala arkusz Czarny Dunajec (Badak 1964) oraz dla obszaru położonego w Beskidzie Żywieckim arkusz Milówka (Burtan i in. 1956).

Na podstawie map geologicznych sporządzono mapy kontaktu warstw geologicznych. Bazując na obserwacjach terenowych oraz literaturze uznano strefy kontaktu warstw geologicznych za obszary bardziej podatne na osuwanie (Kotarba 1986; Wójcik 1997, 2002). Na potrzeby analizy GIS sporządzono mapy z wydzieloną strefą buforową na kontakcie utworów geologicznych o szerokości 200 m (ryc. 25A, 26A, 27A, 28A). Mapy te zapisano w postaci rastrowej.

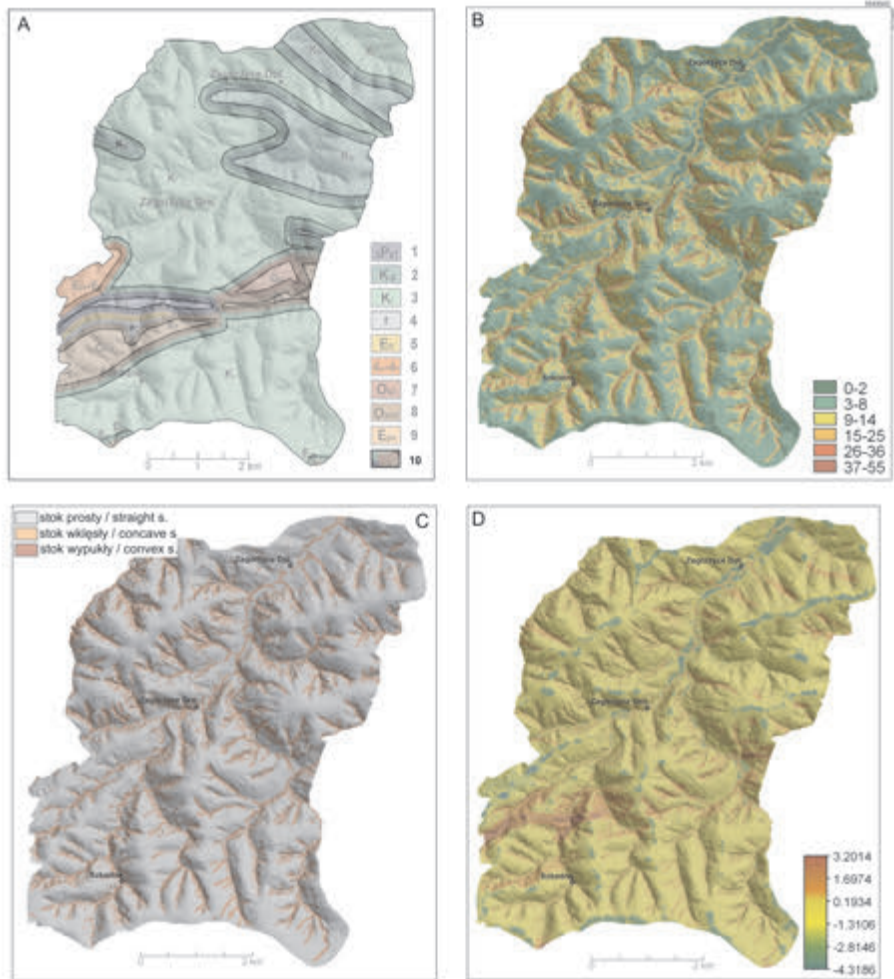
Ostatnim czynnikiem pasywnym włączonym do analizy, który może mieć wpływ na powstawanie osuwisk jest użytkowanie terenu. Mapę tego typu dla obszarów badawczych wykonano na podstawie map topograficznych w skali 1:10 000 oraz ortofotomap w tej samej skali.

Wszystkie mapy tematyczne sporządzone na potrzeby analizy w skali lokalnej zostały sprowadzone do postaci rastrowej (raster 10 x 10 m).



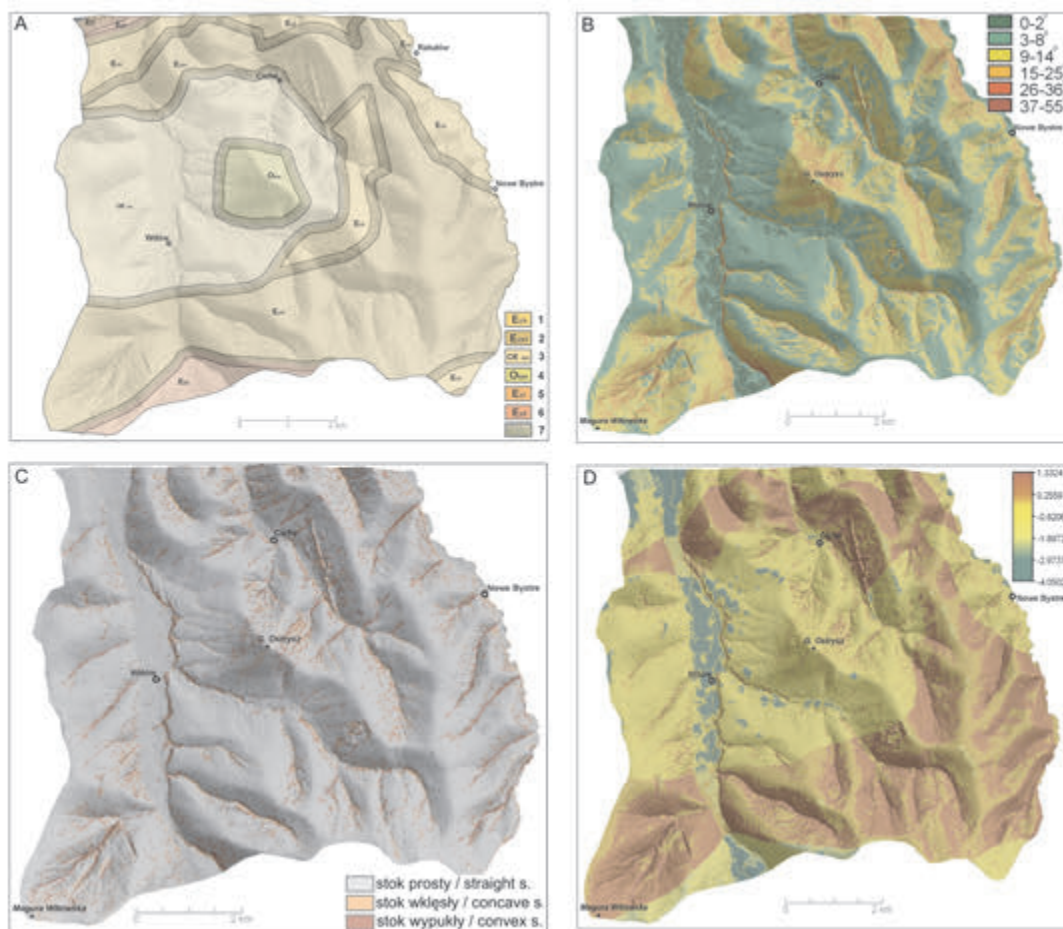
Ryc. 25. Mapy czynników pasywnych uwzględnionych podczas analizy GIS, obszar testowy w Beskidzie Niskim. A – mapa stref kontaktu jednostek geologicznych, 7-strefa graniczna jednostek geologicznych, pozostałe objaśnienia patrz ryc. 2, B – mapa nachyleń, C – mapa kształtu stoków, D – mapa współczynnika podatności na osuwanie.

Remaining passive factors which were include in GIS analysis. Beskid Niski Mts. A – map of geological units border zone, 7 – geological units border zone, remaining explanation – see ryc. 2, B – slope steepnes, C – slope shape map, D – landslide susceptibility index (w) map



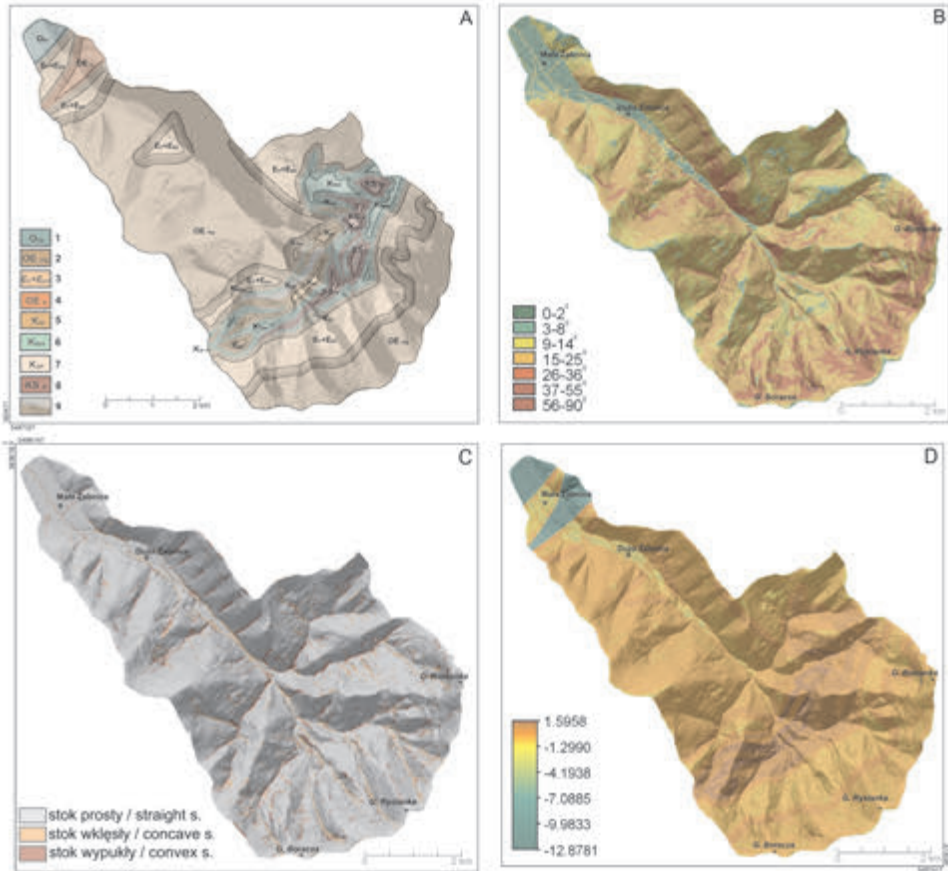
Ryc. 26. Mapy czynników pasywnych uwzględnionych podczas analizy GIS, obszar badawczy na Pogórzu Dynowskim. A – mapa stref kontaktu jednostek geologicznych, 7-strefa graniczna jednostek geologicznych, pozostałe objaśnienia patrz ryc. 5, B – mapa nachyleń, C – mapa kształtu stoków, D – mapa współczynnika podatności na osuwanie.

Remaining passive factors which were include in GIS analysis. Dynowskie Foothills. A – map of geological units border zone, 7 – geological units border zone, remaining explanation – see ryc. 5, B – slope steepnes, C – slope shape map, D – landslide susceptibility index (w) map



Ryc. 27. Mapy czynników pasywnych uwzględnionych podczas analizy GIS, obszar badawczy - zachodnie Podhale. A – mapa stref kontaktu jednostek geologicznych, 7-strefa graniczna jednostek geologicznych, pozostałe objaśnienia patrz ryc. 8, B – mapa nachyleń, C – mapa kształtu stoków, D – mapa współczynnika podatności na osuwanie.

Remaining passive factors which were include in GIS analysis, western Podhale. A – map of geological units border zone, 7 – geological units border zone, remaining explanation – see ryc. 8, B – slope steepness, C – slope shape map, D – landslide susceptibility index (w) map



Ryc. 28 Mapy czynników pasywnych uwzględnionych podczas analizy GIS, obszar badawczy w Beskidzie Żywieckim. A – mapa stref kontaktu jednostek geologicznych, 7-strefa graniczna jednostek geologicznych, pozostałe objaśnienia patrz ryc. 11, B – mapa nachyleń, C – mapa kształtu stoków, D – mapa współczynnika podatności na osuwanie. Remaining passive factors which were include in GIS analysis. Beskid Żywiecki Mts. A – map of geological units border zone, 7 – geological units border zone, remaining explanation – see ryc. 11, B – slope steepnes, C – slope shape map, D – landslide susceptibilty index (w) map

4.2.2. MAPY PODATNOŚCI NA OSUWANIE WYBRANYCH OBSZARÓW BADAŃ - ANALIZA

Przeprowadzona analiza GIS oraz obserwacje terenowe dla wybranego regionu w Beskidzie Niskim wykazała, że obszary podatne na osuwanie skupiają się głównie w obrębie stoków zbudowanych z warstw geologicznych o ogniwach łupkowych, głównie pstrych łupków oraz warstw inoceramowych. Kontrastują z nim warstwy geologiczne o dużej odporności i małej podatności na osuwanie. Na badanym obszarze to głównie piaskowce magurskie (w -0,67) oraz warstwy krośnieńskie (w-1,5). Pozostałe warstwy: piaskowce ciężkowickie oraz łupki grybowskie mają niewielkie znaczenie w przeprowadzonej analizie, gdyż ich łączna powierzchnia nie przekracza 5%. Szczególnie predysponowana do wystąpienia nowych ruchów osuwiskowych jest strefa kontaktu pstrych łupków eoceńskich z piaskowcami magurskimi. Pomimo negatywnego wyniku analizy GIS, strefy kontaktu warstw geologicznych mają duże znaczenie w postawianiu osuwisk na tym obszarze. Dowodem na to są obserwacje terenowe oraz wcześniejsze opracowania (Kotarba 1986). Współczynnik „W” dla obszarów położonych do 100 m od strefy granicznej warstw geologicznych przyjmuje wartość ujemną i wynosi -0,12 natomiast dla obszarów położonych poza tą strefą jego wartość jest dodatnia (0,12) co pozornie wskazuje na zwiększoną podatność na osuwanie. Wynik taki jest nieco mylący i nie do końca zgodny z rzeczywistością. Na wynik analizy GIS mógł mieć wpływ szereg czynników w tym duża powierzchnia osuwisk, a tym samym rozprzestrzenienie zsuwów na obszary położone poza kontaktem warstw geologicznych. Podatność na osuwanie w wielu miejscach dotyczy całych stoków i jest największa na zboczach o nachyleniu 9–14° oraz 15–25° szczególnie na odcinkach o profilu wklęsłym i wypukłym (tab. 8). Otrzymane wyniki odpowiadają wartościom podawanym przez innych badaczy (Jakubowski 1968; Bober 1984; Zabuski i in. 1999). Opisany obszar charakteryzuje się bardzo dużą podatnością na ruchy osuwiskowe (ryc. 29). Stoki podatne i bardzo podatne na osuwanie zajmują ponad 60% powierzchni obszaru. Ruchy osuwiskowe rozprzestrzenione są na dużą skalę. Na niektórych odcinkach stoków brak jest możliwości powstania nowych form, gdyż w całości są one zajęte przez istniejące osuwiska.

Podobnie jak w przypadku Beskidu Żywieckiego obszary predysponowane do wystąpienia ruchów osuwiskowych pokrywają ponad 70% zlewni Żabnicy (ryc. 30). Szczególnie duże zagrożenie tego typu procesami występuje w środkowej części zlewni na stokach wykształconych w piaskowcach inoceramowych oraz piaskowców ze Szczawiny (tab. 9).

Tabela 8. Zestawienie współczynnika W dla każdej klasy mapy tematycznej - Beskid Niski

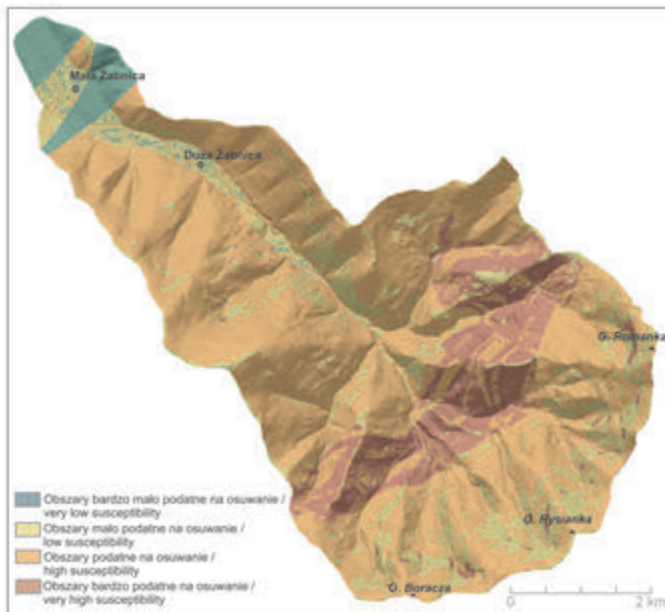
Mapa	Klasa	Udział %	Powierzchnia w ha	Powierzchnia osuwisk w ha	Współczynnik W
Mapa geologiczna	piaskowce magurskie	27,36	622,00	72	-0,6683
	piaskowce ciężkowickie	3,07	70,00	17	0,0988
	warstwy inoceramowe	29,81	678,00	179	0,1560
	warstwy krośnieńskie	8,45	192,00	10	-1,5058
	łupki grybowskie	1,53	35,00	4	-0,5984
	łupki pstre	29,77	677,00	232	0,4135
Mapa nachyleń	0-2°	6,27	142,00	4	-1,9814
	3-8°	27,82	633,00	138	-0,0387
	9-14°	42,76	973,00	255	0,1469
	15-25°	20,67	470,00	109	0,0232
	26-36°	2,22	51,00	8	-0,4000
	37-55°	0,25	6,00	1	-0,2497
Kształt stoków	stoki proste	72,07	1639,00	338	-0,0935
	stoki wklęsłe	14,06	320,00	86	0,1747
	stoki wypukłe	13,87	315,00	91	0,2387
Użytkowanie terenu	drogi główne	0,61	14,00	2	-0,5636
	łąki	14,99	341,00	89	0,1438
	lasy	50,51	1149,00	285	0,0924
	pozostałe użytki rolne	28,70	653,00	105	-0,3411
	zabudowa gospodarcza	5,20	118,00	34	0,2271
Odległość od granic warstw geologicznych	do 100 m	52,63	1197,00	239	-0,1255
	powyżej 100 m	47,37	1077,00	276	0,1233

Tabela 9. Zestawienie współczynnika W dla każdej klasy mapy tematycznej - Beskid Żywiecki

Mapa	Klasa	Udział %	Powierzchnia w ha	Powierzchnia osuwisk w ha	Współczynnik W
Mapa geologiczna	piaskowce ciężkowickie i pasierbieckie, pstre łupki, warstwy hieroglifowe	27,41	1000,00	65	-0,2398
	piaskowce ciężkowickie, pstre łupki, warstwy podmagurskie	1,99	73,00	0	-9,0240
	piaskowce gruboławicowe i zlepienie warstw inoceramowych	4,06	148,00	29	0,8745
	piaskowce magurskie	51,07	1864,00	157	0,0132
	piaskowce ze Szczawiny	4,03	147,00	17	0,3041
	warstwy inoceramowe normalne	9,08	331,00	33	0,1893
	warstwy inoceramowe z wkładkami łupków pstrych	0,81	30,00	2	-0,2141
	warstwy krosnienskie	1,56	57,00	0	-9,0240
Mapa nachyleń	0-2°	1,13	41,00	0	-3,6304
	3-8°	8,27	302,00	13	-0,6415
	9-14°	23,63	862,00	83	0,1507
	15-25°	53,81	1963,00	176	0,0754
	26-36°	12,51	456,00	28	-0,2982
	37-55°	0,64	23,00	3	0,3958
Kształt stoków	stok prosty	89,93	3281	268	-0,0158
	stok wklęsły	5,28	192	18	0,1486
	stok wypukły	4,80	174	16	0,1329
Użytkowanie terenu	łąki	16,53	603,00	74	0,3958
	lasy	67,64	2468,00	202	-0,0133
	pozostałe użytki rolne	14,16	517,00	24	-0,5772
	zabudowa gospodarcza	1,68	61,00	3	-0,6812
Odległość od granic warstw geologicznych	do 100 m	31,48	1149,00	134	0,3413
	powyżej 100 m	68,52	2500,00	169	-0,2079



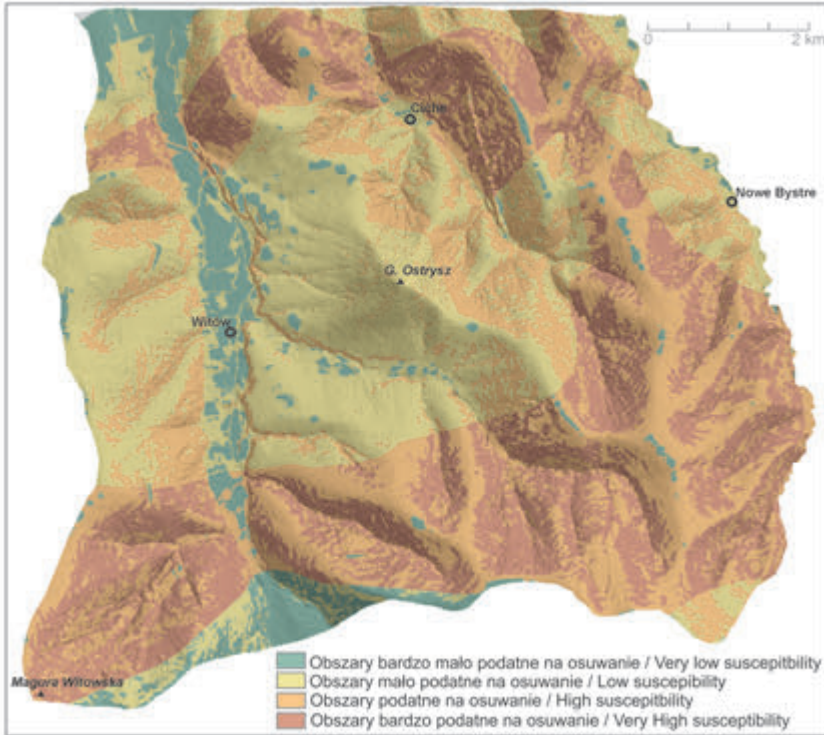
Ryc. 29. Mapa podatności na osuwanie obszaru badawczego w Beskidzie Niskim
Landslide susceptibility map of the study area in the Beskid Niski Mts.



Ryc. 30. Mapa podatności na osuwanie obszaru badawczego w Beskidzie Żywieckim
Landslide susceptibility map of the study area in the Beskid Żywiecki Mts.

Tabela 10. Zestawienie współczynnika W dla każdej klasy mapy tematycznej – Podhale

Mapa	Klasa	Udział %	Powierzchnia w ha	Powierzchnia osuwisk w ha	Współczynnik W
Mapa geologiczna	warstwy chochołowskie dolne, piaskowce	13,58	875,00	29	-0,6442
	warstwy chochołowskie dolne, łupki i piaskowce cienkoławicowe	50,25	3236,00	316	0,4251
	warstwy chochołowskie górne, piaskowce, bentonity	28,46	1833,00	66	-0,5722
	warstwy ostryskie, piaskowce i łupki	3,78	244,00	0	-0,7609
	warstwy zakopiańskie dolne, piaskowce i łupki	0,18	11,00	0	-1,7609
	warstwy zakopiańskie górne, łupki i piaskowce cienkoławicowe	3,76	242,00	0	-1,7609
Mapa nachyleń	0-2 ^o	5,81	375,00	3	-2,1957
	3-8 ^o	44,53	2869,00	122	-0,4039
	9-14 ^o	37,27	2401,00	220	0,3617
	15-25 ^o	11,89	766,00	64	0,2763
	26-36 ^o	0,46	30,00	2	-0,2026
	37-55 ^o	0,03	2,00	0	-0,6353
Kształt stoków	stok prosty	5,57	5730,00	333	-0,0936
	stok wklęsły	5,50	359,00	39	0,5438
	stok wypukły	88,93	354,00	39	0,5456
Użytkowanie terenu	łąki	71,83	4628,00	233	-0,2358
	lasy	20,29	1307,00	150	0,5883
	pozostałe użytki rolne	4,60	296,00	23	0,1906
	zabudowa gospodarcza	3,28	211,00	5	-1,0334
Odległość od granic warstw geologicznych	do 100 m	15,57	1003,00	50	0,2518
	powyżej 100 m	84,43	5440,00	361	0,0399



Ryc. 31. Mapa podatności na osuwanie obszaru badawczego na zachodnim Podhalu
Landslide susceptibility map of the study area in the western Podhale

Podatne na osuwanie są również obszary, gdzie podłoże budują piaskowce magurskie, które zajmują ponad 50% powierzchni obszaru badań. Pozostałe 30% powierzchni zajmują utwory geologiczne mniej podatne na ruchy osuwiskowe, dla których współczynnik „W” przyjmuje wartości ujemne. Są to piaskowce ciężkowickie i pasierbieckie, pstre łupki, warstwy hieroglifowe, warstwy podmagurskie. Predysponowane do wystąpienia ruchów osuwiskowych, podobnie jak w przypadku Beskidu Niskiego, są strefy kontaktu jednostek geologicznych. Prawdopodobnie ta dotyczy przede wszystkim kontaktu skał piaskowcowych z warstwami łupkowymi. Podatność na osuwanie wzrasta na stokach o nachyleniu $9-14^{\circ}$ oraz na stromych stokach o nachyleniu $15-25^{\circ}$ na odcinkach stoku o profilu wklęsłym lub wypukłym. Możliwość wystąpienia potencjalnych ruchów osuwiskowych występuje praktycznie w całej zlewni Żabnicy. Prawdopodobieństwo to zdecydowanie wzrasta w środkowej części doliny, gdzie występują wspomniane już warstwy inoceramowe oraz piaskowce ze Szczawiny. Obszary



Ryc. 32. Mapa podatności na osuwanie obszaru badawczego na Pogórzu dynowskim
Landslide susceptibility map of the study area in the Dynowskie Foothills

mało podatne oraz miejsca, gdzie występuje prawie całkowity brak zagrożenia ruchami osuwiskowymi skupiają się w dwóch strefach: w dnie doliny Żabniczanki oraz na bardzo stromych stokach o nachyleniu powyżej 26° występujących w zamknięciu doliny w jej południowo-wschodniej części. Rejony te zajmują jednak zaledwie 20% powierzchni zlewni.

Na zachodnim Podhalu, obszary predysponowane do wystąpienia ruchów osuwiskowych zlokalizowane są na stokach wykształconych w piaskowcach i łupkach warstw chochołowskich dolnych. W obrębie tych warstw rozwinęła się większość osuwisk badanego obszaru. Warto dodać, że warstwy te zajmują ponad 50% powierzchni. W obrębie pozostałych utworów geologicznych podatność na osuwanie jest mniejsza (tab. 10). Przeprowadzona analiza nie wykazała zależności występowania osuwisk

od strefy kontaktu warstw geologicznych. Na obszarze zachodniego Podhala, podobnie jak w pozostałych regionach objętych badaniami, zwiększoną podatność na osuwanie wykazują stoki o nachyleniu $9-14^{\circ}$ oraz $15-25^{\circ}$. Prawdopodobieństwo wystąpienia ruchów osuwiskowych wzrasta na odcinkach stoków o profilu wklęsłym lub wypukłym. Obszary podatne i bardzo podatne na osuwanie skupiają się głównie w południowej oraz zachodniej części regionu i zajmują ponad 63% powierzchni (ryc. 31). Prawdopodobieństwo wystąpienia nowych osuwisk zdecydowanie maleje w środkowej części obszaru badań oraz w dolinie Czarnego Dunajca.

Jedynym regionem, spośród wytypowanych obszarów badawczych w Karpatach fliszowych, o stokach bardzo mało podatnych oraz mało podatnych, występujących na równi ze stokami predysponowanymi do wystąpienia ruchów osuwiskowych, jest próg Pogórza Dynowskiego na południe od Sędziszowa Małopolskiego. Obszary podatne na osuwanie zajmują tutaj niespełna 50% powierzchni (ryc. 32). Osuwiska rozwinęły się w wąskim pasie stoków pomiędzy rozległymi wierzchowinami a dnami dolin. Tereny najbardziej predysponowane do wystąpienia osuwisk to strefy załomu pomiędzy łagodną wierzchowiną a stromym zboczem doliny oraz leje źródłowe dolin wciosowych. Największą podatność na osuwanie wykazują stoki o nachyleniu $9-14^{\circ}$ oraz $15-25^{\circ}$, a nawet powyżej 26° , o profilu wklęsłym i wypukłym. Prawdopodobieństwo wystąpienia ruchów osuwiskowych znacznie spada na stokach o nachyleniu poniżej 8° (tab. 11). Przeprowadzone badania wykazały zwiększoną podatność na osuwanie stoków wykształconych w młodszych utworach geologicznych, głównie: łupkach pstrych, łupkach i piaskowcach warstw krośnieńskich, eoceńskich łupkach i piaskowcach cienkoławicowych oraz rogowcach i iłach z egzotykami. Utwory te zajmują jednak niewielką powierzchnię. Ponad 85% powierzchni obszaru badań budują piaskowce i łupki oraz piaskowce gruboławicowe warstw inoceramowych, które według analizy wykazują mniejszą podatność na osuwanie (w $-0,03$, $-0,46$). Predysponowane do wystąpienia ruchów osuwiskowych są stoki o profilu wklęsłym lub wypukłym.

Przeprowadzona analiza GIS oraz badania terenowe w obrębie wszystkich czterech obszarów badań nie wykazały wpływu szaty roślinnej na wykształcenie oraz rozwój osuwisk. W przypadku zsuwów strukturalnych, których powierzchnia poślizgu sięga często kilkunastu metrów w głąb, rola drzew w ich rozwoju wydaje się być znikoma. Trudno też w sposób jednoznaczny interpretować wyniki przeprowadzonej analizy. Większość dużych osuwisk skalno-zwietrzelinowych w Karpatach położona jest w lesie lub są tylko częściowo pokryte lasem. Nie wiadomo czy powstały one w takich

warunkach, czy obszary te przed powstaniem osuwiska były niezalesione. Z powyższych względów szata roślinna, jako czynnik mający wpływ na powstawanie osuwisk, została pominięta przy tworzeniu map podatności na osuwanie.

Tabela 11. Zestawienie współczynnika „W” dla każdej klasy mapy tematycznej – Pogórze Dynowskie

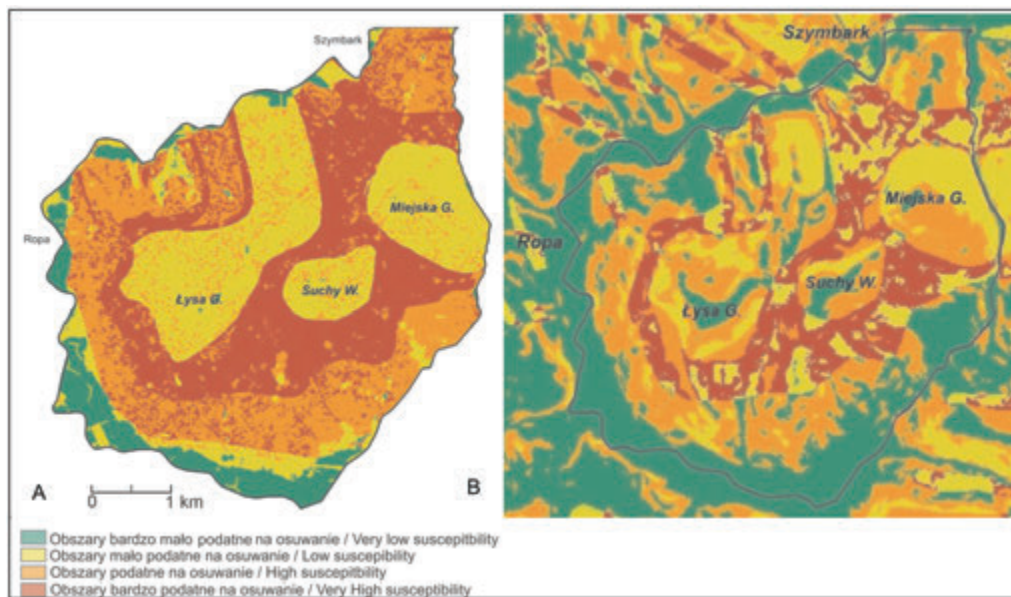
Mapa	Klasa	Udział %	Powierzchnia w ha	Powierzchnia osuwisk w ha	Współczynnik W
Mapa geologiczna	iły z egzotykami i żwirowce ilaste iły babickie	2,72	101,00	6	0,6582
	piaskowce gruboławicowe i łupki warstwy inoceramowe	15,03	561,00	11	-0,4662
	piaskowce i łupki warstwy inoceramowe	70,01	2611,00	82	-0,0335
	rogowce margle skrzemieniałe i łupki	0,57	21,00	3	1,4899
	łupki i piaskowce cienkoławicowe	0,54	20,00	5	2,0867
	łupki i piaskowce cienkoławicowe łupki pstre	1,88	70,00	0	-1,0864
	łupki i piaskowce warstwy krosnienskie górne	1,81	67,00	3	0,1826
	łupki menilitowe z wkładkami piaskowców kliwskich	7,06	263,00	9	-0,0003
	łupki pstre	0,39	14,00	2	1,3422
Mapa nachyleń	0-2°	6,06	226,00	0	-3,0112
	3-8°	47,37	1767,00	33	-0,5581
	9-14°	27,85	1039,00	54	0,4603
	15-25°	15,31	571,00	30	0,4642
	26-36°	3,06	114,00	4	0,1900
	37-55°	0,35	13,00	0	-0,2041
Kształt stoków	stok prosty	79,05	2948,00	86	-0,1139
	stok wklęsły	10,41	388,00	18	0,3430
	stok wypukły	10,53	393,00	18	0,3299
Użytkowanie terenu	drogi główne	0,65	24,00	0	-1,4271
	łąki	6,82	254,00	20	0,9070
	las	23,98	894,00	31	0,0712
	pozostałe użytki rolne	62,46	2330,00	60	-0,2309
	zabudowa gospodarcza	6,09	227,00	9	0,2076
Odległość od granic warstw geologicznych	do 100 m	21,73	811,00	36	0,3075
	powyżej 100 m	78,27	2919,00	85	-0,1071

4.3. WERYFIKACJA WYNIKÓW, DYSKUSJA

Zweryfikowanie opracowanych map podatności na osuwanie nie jest rzeczą prostą. Najlepszym sposobem na to jest przeprowadzenie na obszarze badań kartowania osuwisk i nałożenie nowej mapy osuwisk na mapę podatności na osuwanie. Operację tego typu można jednak przeprowadzić po kilku latach lub po okresie sprzyjającym rozwojowi osuwisk. Tak więc weryfikacja taka, z punktu widzenia realizacji niniejszej pracy była niemożliwa z uwagi na długi czas potrzebny do jej przeprowadzenia. Jeszcze trudniejszym zadaniem jest sprawdzenie wyników badań dla map opracowanych w skali regionalnej. W tym przypadku niemożliwe jest użycie dokładnych map osuwisk obejmujących całą powierzchnię obszaru badań.

W niniejszym opracowaniu weryfikację map podatności na osuwanie przeprowadzono w obu zastosowanych skalach przestrzennych. Przebiegała ona dwustopniowo. W pierwszej kolejności sprawdzanie polegało na nakładaniu na końcową mapę podatności na osuwanie map tematycznych oraz map współczynników „W”. Operacja ta miała na celu eliminację ewentualnych pomyłek technicznych oraz błędów merytorycznych. Drugi etap weryfikacji, przeprowadzony w skali regionalnej polegał na porównaniu wybranych fragmentów mapy podatności na osuwanie całych Karpat z mapami podatności opracowanymi przy użyciu metod ilościowych. W skali lokalnej podstawą weryfikacji było nałożenie map osuwisk na końcowe mapy podatności na osuwanie i sprawdzenie udziału powierzchni osuwisk wykształconych na stokach o określonej podatności na osuwanie.

Otrzymane wyniki badań dają relatywnie prawdziwy obraz rzeczywistości, a strefy podatne na osuwanie pokrywają się z miejscami o największym nagromadzeniu osuwisk (ryc. 24). Weryfikacja końcowa materiałów kartograficznych oraz porównanie wybranych fragmentów mapy Karpat z mapami podatności na osuwanie dla wytypowanych obszarów testowych potwierdziły wiarygodność końcowego opracowania. Zestawione mapy wyraźnie ze sobą korespondują, co najlepiej widać na przykładzie Beskidu Niskiego (ryc. 33). W pozostałych rejonach, mapy podatności na osuwanie nieznacznie się różnią. Różnice te wynikają z kilku przyczyn. Ocena podatności poszczególnych warstw geologicznych przeprowadzona przez L. Bobera (1984) może się różnić od wyniku analizy GIS. Tak jest w przypadku Beskidu Żywieckiego, gdzie uznane przez L. Bobera (1984) za mniej podatne na osuwanie warstwy inoceramowe oraz piaskowce ze Szczawiny wykazują jednak większą podatność niż piaskowce magurskie. Kolejnym powodem mogącym wpływać na różnice w obrębie porównywanych map są odmienne skale opracowania. Wartościowanie jednostek litologicznych



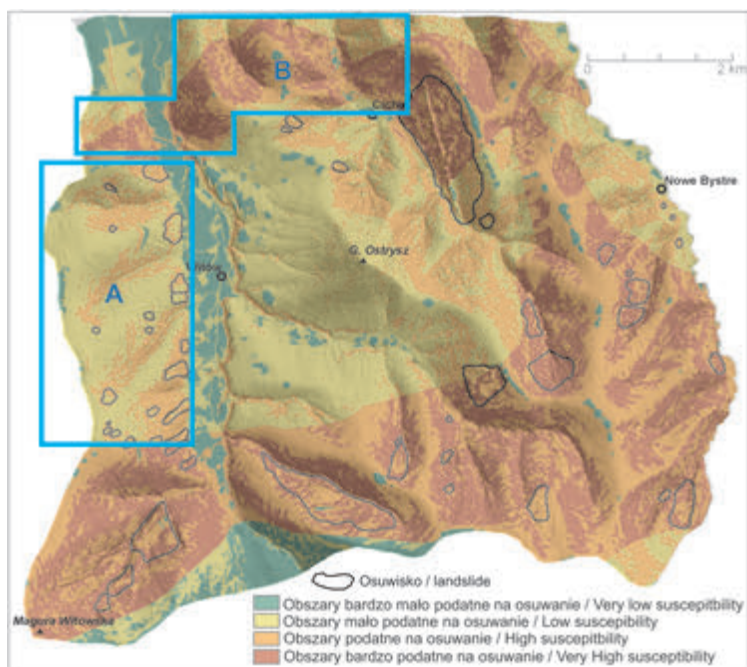
Ryc. 33. Porównanie map podatności na osuwanie. Przykład z Beskidu Niskiego. A – skala lokalna, B – skala regionalna (fragment mapy podatności na osuwanie polskich Karpat)
 Comparison of landslide susceptibility maps. Example from Beskid Niski Mts. A – local scale, B – regional scale (part of landslide susceptibility map for polish Carpathians)



Ryc. 34. Mapa podatności na osuwanie z zasięgiem osuwisk. Obszar badawczy – Beskid Niski
Landslide susceptibility map with landslide range. Study area in the Beskid Niski Mts.

fliszu przeprowadzone przez L. Bobera (1984) oraz L. Zabuskiego (i in. 1999) odnosi się do całych płaszczowin, natomiast współczynnik podatności na osuwanie określonych warstw geologicznych danego obszaru testowego jest wynikiem obliczeń dla niewielkiego regionu górskiego. Doskonale to widać na przykładzie zachodniego Podhala, gdzie uznawane w literaturze za szczególnie podatne na osuwanie warstwy zakopiańskie (Bober 1984), zajmują jedynie 4% powierzchni wyznaczonego obszaru. Prawie całkowity brak warstw zakopiańskich w obrębie opisywanego rejonu wpływa na końcowe rezultaty badań i na różnice pomiędzy porównywanymi mapami. Pomimo opisanych niezgodności, rejony podatne na osuwanie, wyznaczone dla danego obszaru za pomocą dwóch różnych metod badawczych wyraźnie pokrywają się.

Zdecydowanie lepsze rezultaty dają badania przeprowadzone w skali lokalnej dla wybranych obszarów górskich, których powierzchnia nie przekracza 100 km². Zastosowanie metod ilościowych, w których podstawą obliczeń jest dokładna mapa osuwisk danego terenu zwiększa wiarygodność otrzymywanych wyników. Końcowe rezultaty odzwierciedlają prawdziwy obraz rzeczywistości, a potwierdzeniem tego jest zazębianie się stref uzna-



Ryc. 35. Mapa podatności na osuwanie z zasięgiem osuwisk. Obszar badawczy – zachodnie Podhale. Objaśnienia w tekście
Landslide susceptibility map with landslide range. Study area in the western Podhale region. Explanations in text

nych za podatne na osuwanie z lokalizacją form osuwiskowych (ryc. 34). Prawidłowość ta dotyczy wszystkich czterech obszarów badawczych, a jej potwierdzeniem jest udział procentowy powierzchni osuwisk na stokach o określonej podatności na osuwanie. Od 78 do 92% powierzchni osuwisk w zależności od regionu badawczego wykształciło się w obrębie stoków uznanych za podatne lub bardzo podatne na osuwanie. Jedynym przypadkiem, który odbiega od tej reguły jest region zachodniego Podhala (ryc. 35). Strefy osuwiskowe nie zawsze pokrywają się tu ze stokami podatnymi na osuwanie. Tak jest w przypadku północnej części regionu (obszar B), gdzie osuwiska nie wykształciły się, a według analizy stoki tam występujące są predysponowane do wystąpienia ruchów osuwiskowych. Inny przykład dotyczy doliny Czarnego Dunajca, jego zachodnich zboczy, na których powstało wiele osuwisk (obszar A). Według opracowanej mapy, osuwiska rozwinęły się tam również na stokach mało podatnych na osuwanie. Omawiane nieścisłości są prawdopodobnie wynikiem nie uwzględnienia w analizie pozostałych czynników pasywnych, a także uogólnieniami, które wprowadza się podczas prac z zastosowaniem technik GIS.

Mapy podatności na osuwanie powinny być wzbogacone o pozostałe elementy środowiskowe mające wpływ na powstawanie osuwisk. Do najważniejszych czynników nieuwzględnionych w tym opracowaniu, który powinien być elementem składowym analizy, w warunkach karpackich należy tektonika. Jak już wcześniej wspomniano czynnik ten został pominięty z uwagi na trudności w pozyskaniu miarodajnych danych, które mogłyby być wykorzystane do obliczeń komputerowych. Problemy w wykorzystaniu poszczególnych elementów tektoniki jak: strefy uskokowe, spękania czy upady warstw skalnych związane są również z ich adaptacją do postaci rastrowej i dalszym ich wykorzystaniem podczas analizy GIS. Przyjęta metoda badań posiada pewne ograniczenia w użyciu tego typu danych do wyznaczania stref podatnych na osuwanie.

Zastosowanie metod ilościowych daje dużo lepsze rezultaty aniżeli użycie metod jakościowych, opierających się tylko na wiedzy i doświadczeniu badacza. Sporządzone mapy podatności na osuwanie w przyjętej skali opracowania oraz w oparciu o dokładną mapę osuwisk danego terenu charakteryzują się dużą dokładnością, dzięki czemu mogą mieć zastosowanie w praktyce. Nie są one jednak pozbawione wad i błędów. Każda analiza komputerowa prowadzi do pewnego rodzaju uogólnień. Należy o tym pamiętać dobierając dane wejściowe do modelu, w trakcie samych obliczeń oraz przy interpretacji wyników. Najlepszym rozwiązaniem przy sporządzaniu tego typu map jest dobranie odpowiedniej metody badań w zależności od obszaru na jakim chcemy działać oraz od oczekiwanych wyników końcowych. Pewnym rozwiązaniem mogącym poprawić wyniki badań jest łączenie kilku metod badań.

5. GEOLOGICZNE I GEOMORFOLOGICZNE UWARUNKOWANIA RUCHÓW MASOWYCH W KARPATACH FLISZOWYCH

Rozwój osuwisk w polskich Karpatach fliszowych jest związany głównie z wykształceniem lito-facjalnym ogniw, z których są zbudowane poszczególne płaszczowiny. Duży wpływ na powstawanie osuwisk wywierają również takie elementy tektoniczne, jak: nasunięcia, uskoki i spękania. Ważny jest również kąt zapadania warstw w stosunku do nachylenia stoku osuwiskowego (Bober 1984). Omawiane czynniki są niezwykle istotne, zwłaszcza w przypadku osuwisk strukturalnych, które swym zasięgiem obejmują skalne podłoże. W przypadku płytkich osuwisk zwietrzelinowych większe znaczenie ma rodzaj i miąższość pokryw stokowych oraz kształt i nachylenie stoku.

Badania terenowe przeprowadzone w obrębie czterech wytypowanych obszarów polskich Karpat fliszowych oraz analiza GIS częściowo potwierdzają wymienione wyżej prawidłowości rozwoju tego typu form. Jednak znaczenie poszczególnych czynników osuwiskowych w różnych częściach Karpat jest zróżnicowane. W rozdziale tym omówiono główne warunki rozwoju osuwisk, jakie ustalono podczas badań terenowych oraz analizy wyników obliczeń komputerowych.

Obszarem, gdzie zależność ruchów osuwiskowych od wykształcenia litologicznego utworów skalnych jest szczególnie dobrze widoczna jest Beskid Niski. Obszar ten charakteryzuje się szczególnie dużym nagromadzeniem form osuwiskowych. Wskaźnik osuwiskowości powierzchniowej wynosi aż 22,4%. Wskaźnik ten nazywany również „osuwiskowością” oblicza się za pomocą wzoru:

$$O = \frac{P_1}{P_2} \cdot 100 \%$$

gdzie: O – wskaźnik osuwiskowości powierzchniowej, P_1 – powierzchnia analizowanego obszaru (km^2), P_2 – łączna powierzchnia osuwisk występujących na powierzchni analizowanego obszaru (km^2), (Bober 1984).

Ten sam wskaźnik wyliczony przez L. Bobera (1984) dla rejonu Szymbarku jest również wysoki i wynosi 11,73% (tab. 12). Otrzymane wyniki świadczą o dużej roli osuwisk w transformacji stoków tej części Beskidu Niskiego.

Tabela 12. Zestawienie wskaźnika osuwiskowości powierzchniowej dla wybranych obszarów badawczych

Obszar badań	Powierzchnia w km ²	Liczba osuwisk	Wskaźnik osuwiskowości powierzchniowej w %	Wskaźnik osuwiskowości wg Bobera (1984) w %
Beskid Niski – Szymbark	22,7	43	22,4	Beskid Niski na SW od Gorlic – 11,73
Pogórze Dynowskie	37,3	164	3,3	Pogórze Dynowskie – 0,9–8,9
Pogórze Gubałowskie – zachodnia część	64,4	51	6,4	Podhale zachodnie – 0,9–2,9
Beskid Żywiecki – zlewnia Żabnicy	36,5	45	8,3	Beskid Żywiecki – 17,82

Badania terenowe przeprowadzone w rejonie Szymbarku dowiodły, iż rozwój osuwisk na tym obszarze jest ściśle powiązany z obecnością określonych utworów geologicznych. Położenie i granice osuwisk wyraźnie dowiązują do strefy ilastych łupków pstrych, które stanowią doskonałą płaszczyznę poślizgu dla osuwających się mas skalnych i zwietrzelinowych. Zsuwy, głównie rotacyjne, powstały tutaj na kontakcie wspomnianych łupków eoceńskich i piaskowców magurskich. Występuje tutaj bardzo korzystny z punktu widzenia rozwoju osuwisk układ warstw skalnych. Górna część zboczy jest zbudowana z gruboławicowych piaskowców magurskich leżących na wspomnianych ilastych łupkach pstrych, które budują dolne części stoków. Osuwające się w dolnej i środkowej części stoku utwory łupkowe powodują stromienie odcinków stoku na pograniczu tych utworów z bardziej odpornymi piaskowcami, co w konsekwencji powoduje odkłucie się nadległych mas skalnych (Bober 1984). Na granicy tych utworów geologicznych rozwinęły się wysokie skarpy osuwisk dochodzące do 30 m.

Bardzo duża wartość wskaźnika osuwiskowości powierzchniowej tego obszaru wynika również z położenia badanego rejonu w strefie granicznej płaszczowiny magurskiej i śląskiej. Masy skalne są wtórnie pofałdowane, przemieszczone wzdłuż uskoku na osi Ropy i pocięte mniejszymi uskokiemi na bloki (Świdziński 1953; Kozikowski 1956; Sikora 1970). Obecność tego typu stref uskokowych oraz występowanie w ich obrębie ruchów neotektonicznych może być pierwotną przyczyną rozwoju osuwisk na dużą skalę (Sikora 1970; Bober 1971; Mastella 1975b). Tak prawdopodobnie jest również w przypadku omawianej części Beskidu Niskiego choć bardzo trudno w sposób jednoznaczny to udowodnić.

Położenie wytypowanego obszaru badań w dorzeczu Ropy w strefie brzeżnej Beskidów i Pogórza również może mieć wpływ na rozprzestrzenienie ruchów osuwiskowych na tym obszarze. Duże kontrasty litologiczne oraz strefa aktywna tektonicznie ma swoje odbicie w rzeźbie terenu. Rzeźba nosi tutaj cechy beskidzkie oraz pogórskie, stąd zróżnicowana morfologia oraz jej duża energia. Strefa osuwisk badanego obszaru wyraźnie dowiązuje położeniem oraz układem form do przebiegu koryta Ropy. Aktywność erozyjna Ropy oraz jej dopływów jest kolejnym czynnikiem sprzyjającym rozwojowi osuwisk na tym obszarze. Szczególnie duże znaczenie mają potoki o spadkach rzędu 150–200%, w obrębie których zachodzi erozja boczna, a w strefie źródłowej erozja wsteczna. Obecnie działalność erozyjna potoków ma wpływ przede wszystkim na odmładzanie starych powierzchni osuwiskowych, głównie w lejach źródłowych dolin bocznych. Prawidłowość ta jest bardzo dobrze widoczna w terenie, gdzie obserwuje się cofanie nisz osuwiskowych. W skrajnych przypadkach erozja rzeczna może doprowadzić do powstania nowego osuwiska. Zsuwy wykształciły się tutaj głównie na stokach o nachyleniu 9–14°. Zbocza w tym przedziale nachyleń zajmują 973 ha, co stanowi ponad 40% powierzchni obszaru badań. Powierzchnia osuwisk na stokach o tym nachyleniu wynosi 255 ha. W przeważającej większości nisze osuwisk wykształciły się na stokach o większym nachyleniu powyżej 20°, tam gdzie warstwy skalne charakteryzują się większą odpornością. W środkowej i dolnej części stoku nachylenia wyraźnie się zmniejszają, a stok w obrębie powierzchni osuwiskowych posiada profil falisty o nieregularnych kształtach.

Innym rejonem polskich Karpat fliszowych, gdzie ruchy osuwiskowe mają bardzo duże znaczenie w transformacji rzeźby jest Beskid Żywiecki. Zlewnia Żabnicy charakteryzuje się dużym wskaźnikiem osuwiskowości powierzchniowej, który wynosi 8,3%. O dużej osuwiskowości tej części Karpat świadczy również wskaźnik obliczony przez L. Bobera (1984). Udział procentowy osuwisk w modelowaniu stoków niektórych zlewni Beskidu Żywieckiego wynosi, aż 71% powierzchni (Wójcik 1997). Tu również dominują osuwiska strukturalne skalnozwiętrzelinowe.

Ruchy osuwiskowe w zlewni Żabnicy, z uwagi na ich charakter i typ przemieszczeń, uwarunkowane są przede wszystkim budową geologiczną. Osuwiska rozwinęły się tu głównie w obrębie piaskowców magurskich, piaskowców ze Szczawiny oraz piaskowców warstw inoceramowych. Są to warstwy geologiczne, w których dominują ogniwa piaskowcowe. W odróżnieniu od Beskidu Niskiego utwory geologiczne o ogniwach łupkowych wykazują zdecydowanie mniejszą osuwiskowość. Liczba zsuwów na bada-

nym obszarze wyraźnie spada w obrębie piaskowców ciężkowickich i łupków warstw hieroglifowych, łupków i piaskowców warstw podmagurskich oraz warstw krośnieńskich. Prawdliwość tą dla obszaru Beskidu Żywieckiego stwierdził H. Teisseyre (1936) oraz L. Bober (1984) i A. Wójcik (1997, 2002), a potwierdziły ją badania terenowe oraz analiza GIS. A. Wójcik (1997, 2002) wiąże taki stan rzeczy z faktem, że wspomniane ogniwa piaskowcowe budują grzbiety oraz strome stoki, natomiast z ogniw łupkowych, jako mniej odpornych, są zbudowane stoki o mniejszym nachyleniu oraz ich dolne odcinki. Znaczenie może tu mieć również oddziaływanie tzw. czasu geologicznego. Pierwotnie najbardziej podatne na osuwanie były prawdopodobnie stoki zbudowane z fliszu łupkowego, najsłabszego pod względem wytrzymałości na działanie procesów denudacyjnych. Rejony, w których dominował wówczas ten rodzaj ośrodka skalnego, ulegały intensywnym procesom osuwiskowym i dlatego obiekty, które pozostały do dziś są stosunkowo nieliczne. Stoki zbudowane z odpornych jednostek piaskowcowych są bardziej wytrzymałe, co tłumaczy większe nagromadzenie osuwisk w ich obrębie w czasach współczesnych (Zabuski i in. 1999).

Duże znaczenie w rozmieszczeniu osuwisk na badanym obszarze, oprócz wykształcenia litologicznego ośrodka skalnego, mają również strefy kontaktu utworów geologicznych. Przeprowadzona analiza GIS dowiodła, że liczba osuwisk wyraźnie wzrasta na obszarach położonych w odległości do 100 m od granic jednostek geologicznych. Wiele osuwisk powstało na kontakcie piaskowców magurskich i łupkowych warstw hieroglifowych. Sytuacja ta jest dobrze widoczna w południowo-wschodniej części zlewni, gdzie górne części stoków wykształcone są w obrębie piaskowców magurskich a dolne części zboczy zbudowane są z warstw hieroglifowych. Prawdliwość tą obserwował również A. Wójcik (1997, 2002) na obszarze dorzecza Koszarawy. W obrębie zlewni Żabnicy zwiększona osuwiskowość występuje również na granicy pozostałych jednostek geologicznych. Z przeprowadzonych obserwacji oraz analizy GIS wynika, że obszary najbardziej korzystne do rozwoju osuwisk występują na granicy piaskowców magurskich z innymi jednostkami geologicznymi.

Dużą liczbę osuwisk w tej części Beskidu Żywieckiego determinują również czynniki tektoniczne. Zlewnia Żabnicy położona jest na granicy płaszczowiny magurskiej oraz jednostki podmagurskiej. Jest to rejon aktywny sejsmicznie, gdzie występują ruchy neotektoniczne (Guterch, Lewandowska-Marciniak 2002). Rolę tektoniki w rozwoju osuwisk w Beskidzie Żywieckim wskazywali M. Adamczyk (1979) oraz A. Wójcik (1997). W odróżnieniu od Beskidu Niskiego, w tej części płaszczowiny magurskiej

przeważają osuwiska obsekwentne (Bober 1984) oraz osuwiska o skomplikowanej tektonice (Wójcik 1997, 2002). W dużej mierze osuwiska na badanym obszarze nawiązują do przebiegu uskoków i nasunięć. Dotyczy to szczególnie form, które rozwinęły się w obrębie jednej warstwy geologicznej, przeważnie w obrębie piaskowców magurskich. Formy tego typu w zlewni Żabnicy zlokalizowane są głównie na stromych stokach Romanki, Lipowskiej oraz Boraczej.

Różnice litologiczne, w tym zmienna zawartość piaskowców i łupków, oraz tektonika mają odzwierciedlenie w rzeźbie. Jak już wspomniano wcześniej, stoki budują tu utwory geologiczne o ogniwie piaskowcowym, a więc bardziej odpornym na procesy denudacji i wietrzenia. Ma to również wpływ na rozwój i morfologię osuwisk. Zsuwy wykształcone w obrębie piaskowców magurskich oraz piaskowców ze Szczawiny zajmują stoki o nachyleniu 15–25°. Nachylenia stoków osuwiskowych są większe w porównaniu z Beskidem Niskim, gdzie osuwiska powstają głównie na zboczach w przedziale 9–14°. Większe nachylenia, często przekraczające 25° obserwuje się również w obrębie szkarp osuwisk.

Obszarem charakteryzującym się mniejszą osuwiskowością względem omawianych wyżej rejonów Karpat fliszowych jest zachodnie Podhale (tab. 12). Wytypowany obszar badań, położony między wsiami Witów i Nowe Bystre posiada wskaźnik osuwiskowości powierzchniowej na poziomie 6,4%. Wartość ta jest nieco większa od podawanego przez L. Bobera (1984) wskaźnika dla obszaru zachodniego Podhala 0,9–2,9%. Wskazane rozbieżności wynikają prawdopodobnie z wyłączenia z badań północnej części regionu o łagodnej rzeźbie, gdzie osuwiska praktycznie nie występują. Według przeprowadzonych wcześniej badań znacznie więcej osuwisk występuje we wschodniej części Podhala. Wskaźnik osuwiskowości powierzchniowej dla omawianego regionu kształtuje się na poziomie 4,8–8,9% (Bober 1984). Kartowanie geomorfologiczne przeprowadzone w zachodniej części Podhala dowiodło, że dysproporcje te nie są znaczące. Na obszarze o powierzchni 64 km² zarejestrowano 51 zsuwów o łącznej powierzchni 410 ha.

Na prezentowanym obszarze osuwiska najliczniej występują w obrębie łupków i piaskowców cienkoławicowych warstw chochołowskich dolnych oraz w mniejszym stopniu na stokach wykształconych w piaskowcach warstw chochołowskich górnych. Na seriach łupkowych warstw chochołowskich dolnych rozwinęły się największe osuwiska badanego obszaru (osuwisko w Cichem i w Dzianiszu). Oprócz wykształcenia litologicznego utworów skalnych szczególnie sprzyjające rozwojowi osuwisk na obszarze

zachodniego Podhala jest naprzemianległe ułożenie piaskowców i łupków. Dotyczy to szczególnie mieszanych kompleksów warstw zakopiańskich górnych oraz całych warstw chochołowskich (Kukulak 1988). W obrębie warstw zakopiańskich, uznawanych w literaturze za bardzo podatne na ruchy osuwiskowe nie stwierdzono osuwisk. Wynika to z faktu, że warstwy te zajmują niespełna 4% powierzchni obszaru badań. Istotną rolę w powstawaniu osuwiska w zachodniej części niecki podhalańskiej mogą odgrywać utwory geologiczne o niewielkiej miąższości, jak tufity oraz bentonity. Cienkie wkładki warstw skalnych charakteryzujących się dużą plastycznością mają bardzo duże znaczenie w powstawaniu osuwisk w obrębie danego kompleksu warstw (Michalik 1962). Sytuacja ta dotyczy szczególnie bentonitów, dzięki ich właściwościom fizykomechanicznym, dużej higroskopijności i plastyczności (Michalik, Wiesser 1959). Utwory te tworzą w profilu fliszu podhalańskiego kilku centymetrowe przewarstwienia, ale występują w jego obrębie bardzo często, zwłaszcza w warstwach chochołowskich (Gołąb 1954). Prawdopodobnie z obecnością bentonitów w kompleksie warstw chochołowskich górnych związany jest szereg osuwisk położonych na wschodnich zboczach doliny Czarnego Dunajca we wsi Witów.

Najważniejszym czynnikiem determinującym ruchy osuwiskowe na Podhalu jest prawdopodobnie tektonika. Dotyczy to szczególnie zsuwów skalno-zwietrzelinowych. Większość z nich to osuwiska konsekwentne, wykształcone w obrębie warstw skalnych o upadzie zgodnym z nachyleniem zbocza. Wpływ tektoniki na powstawanie i rozwój osuwisk regionu Podhala był tematem wielu opracowań (Śliwa, Wilk 1954; Śliwa 1955; Boretta-Szumańska 1960). Region ten z uwagi na położenie w strefie aktywnej sejsmicznie o skomplikowanej tektonice i dużym występowaniu ruchów osuwiskowych należy do najlepiej zbadanych pod tym kątem. K. Jakubowski (1968) wiąże genezę kilkudziesięciu osuwisk strukturalnych, zlokalizowanych w pobliżu pasa skałkowego, z przyskałkową strefą zaburzeń tektonicznych. Liczne uskoki i towarzyszące im spękania na tym obszarze spowodowały osłabienie spójności podłoża i w konsekwencji rozwój osuwisk. Szczegółowe badania przeprowadzone przez L. Bobera (1971) na wybranych osuwiskach Podhala wykazały, że przyczyną ich powstania były ruchy neotektoniczne. Na obszarze wschodniego Podhala badania tego typu przeprowadził L. Mastella (1975b). Cytowany autor dowiódł znaczenia dezintegracji masywu skalnego, przez spękania ciosowe, jako czynnika determinującego rozmieszczenie osuwisk. Przyczyną powodującą wzrost gęstości spękań tego typu są współczesne procesy wypiętrzające obserwowane w tej części obszaru.

Badania nad związkiem tektoniki z ruchami osuwiskowymi przeprowadzono również na zachodnim Podhalu obejmującym swym zasięgiem wytypowany obszar badawczy (Kukulak 1988). Autor w celu przedstawienia udziału predyspozycji tektonicznych w genezie i rozwoju osuwisk dokonał pomiaru orientacji i gęstości uskoków oraz spękań ciosowych i upadu warstw w obrębie 17 osuwisk skalno-zwietrzelinowych. Pomierzył również kierunki krawędzi nisz i osuniętych pakietów skalnych oraz określił długość tych elementów. W przeprowadzonej analizie uwzględnił kształt całych osuwisk, geometrię ich elementów składowych oraz głębokość i lokalizację. J. Kukulak (1988) stwierdził wyraźny związek między przebiegiem dyslokacji i spękań ciosowych a kierunkami skarp i krawędzi analizowanych osuwisk. Jest to szczególnie widoczne w obrębie zsuwów powstałych na stokach o nachyleniu 10–15°. Badania terenowe oraz analiza GIS wykonane przez autora wykazały, że osuwiska zachodniej części Podhala najliczniej występują na stokach właśnie w tym przedziale nachyleń. Przejawem morfostrukturalnych powiązań osuwisk zachodniego Podhala jest również wysoki wskaźnik procentowy długości skarp osuwisk, zgodny z kierunkami strukturalnymi podłoża. Morfometria pozostałych elementów składowych osuwisk również uzależniona jest od warunków tektonicznych. O długości osuwiska decyduje przede wszystkim wzajemny stosunek kątów nachylenia stoku i upadu warstw oraz w pewnym stopniu wielkość upadu warstw (Michalik 1962). Zależność ta jest doskonale widoczna na przykładzie osuwiska w Cichem. Jest to typowy zsuw konsekwentno-strukturalny po upadzie warstw, gdzie powierzchnia poślizgu jest jednocześnie powierzchnią uławicenia (ryc. 19). W południowej części stoku, gdzie upad warstw wynosi 8° ku zachodowi i jest mniejszy od nachylenia stoku, masy skalne zsunęły się od wierzchołku, aż do dna doliny. Natomiast w części północnej, gdzie upad warstw wynosi od 18 do 25°, osuwanie się mas skalnych po upadzie było utrudnione, stąd odległość ich ześlizgu jest niewielka (Michalik 1962). Szerokość form wynika natomiast ze zgodności kierunku nisz z przebiegiem spękań (Bober 1971). Najszersze są osuwiska, których nisz są kierunkowo zgodne z zagęszczonym w strefach uskokowych dominującym zespołem spękań. Powiązania morfostrukturalne widoczne są również w lokalizacji i rozmiarach badanych form. Największe z nich koncentrują się głównie w strefach zwiększonej gęstości spękań, zwłaszcza w pobliżu dyslokacji. Obszary o zagęszczonych spękaniach ciosowych, ławicowych, odprężeniowych i grawitacyjnych są strefami potencjalnie najbardziej osuwiskowymi. Koncentracja osuwisk wzdłuż głównych uskoków może być przejawem współczesnej mobilności tych dyslokacji lub całych stref uskokowych (Kukulak 1988).

Litologia oraz w większym stopniu tektonika mają decydujący wpływ na rzeźbę zachodniego Podhala. Jest to bardzo dobrze widoczne w morfologii osuwisk występujących tutaj. Badania terenowe autora potwierdzają wyniki analiz przeprowadzonych przez J. Kukulaka (1988). Obecnie prowadzone pomiary terenowe są jednak bardzo utrudnione z uwagi na zarośnięcie skarpy osuwisk przez drzewa oraz brak odsłoneń skalnych w ich obrębie. Z tego względu w niniejszym opracowaniu analizę wpływu tektoniki na ruchy osuwiskowe oparto głównie na badaniach J. Kukulaka (1988). Badania te dowiodły, że tektoniczne predyspozycje podłoża w sposób decydujący wpłynęły na rozmieszczenie, wykształcenie oraz rozwój osuwisk na tym obszarze.

Rejonem o najmniejszym wskaźniku osuwiskowości powierzchniowej spośród wytypowanych regionów badawczych w Karpatach fliszowych jest fragment Pogórza Dynowskiego na południe od Sędziszowa Małopolskiego. Osuwiskowość wynosi tu 3,3% i jest zbliżona do podawanej przez L. Bobera (1984) dla tej części Pogórza (tab. 12). Znacznie większe wartości wskaźnika osuwiskowości powierzchniowej uzyskał M. Kamiński (2006). Dla obszaru o powierzchni 93,4 km² wskaźnik ten wyniósł ponad 17%. Trudno ustalić przyczyny tak dużych dysproporcji, szczególnie w przypadku, gdy autor nie podaje dokładnie, w której części Pogórza Dynowskiego prowadził badania.

Formy osuwiskowe na badanym obszarze są bardzo zróżnicowane zarówno pod względem morfometrii jak i typu. Jak już wspomniano w wyżej zamieszczonych rozdziałach, występują tu głównie płytkie zsuwy zwietrzelinowe oraz osuwiska skalno-zwietrzelinowe. Rozmieszczenie oraz rozwój tych ostatnich uwarunkowany jest występowaniem w podłożu młodszych utworów geologicznych facji łupkowej. Analiza GIS dowiodła, że duże osuwiska sięgające swym zasięgiem podłoża skalnego wykształciły się na łupkach eoceńskich z wkładkami piaskowców. Największe zagęszczenie osuwisk rozwiniętych w obrębie warstw łupkowych występuje w dolinie Budziszka w miejscowości Szkodna, gdzie zespół osuwisk rozmieszczony jest na zboczach doliny. Formy te posiadają zachowane skarpy oraz dobrze widoczne wały koluwalne. Bliskość koryta sugeruje, że oprócz budowy geologicznej istotne znaczenie w ich rozwoju miała również erozja rzeczna. Głębokie osuwiska skalno-zwietrzelinowe w strefie progowej Pogórza Dynowskiego występują również w obrębie utworów starszych. Wiele osuwisk powstało na stokach zbudowanych z piaskowców i łupków warstw inoceramowych, które na badanym obszarze zajmują ponad 70% powierzchni.

Osuwiska w warunkach pogórskich, w dużej mierze dowiązują do głównych elementów rzeźby. Ich rozmieszczenie podyktowane jest przebiegiem dolin oraz nachyleniem ich zboczy. Zsuwy skalnozwiertzelinowe oraz płytkie osuwiska wypreparowane wyłącznie w materiale zwiertzelinowym powstały na stokach o nachyleniu 9–14° oraz 15–25°. Formy tego typu rozwinęły się na zboczach dolin w obrębie załomu pomiędzy łagodnym stokiem wierzchownicy a stromym zboczem doliny. W tej strefie wykształciło się wiele nisz osuwisk. Szereg płytkich zsuwów występuje w lejach źródłowych dolin wciosowych. Formy tam zlokalizowane charakteryzują się dużą dynamiką i są często odmładzane.

Rozwój ruchów osuwiskowych w strefie progowej Pogórza Karpackiego uwarunkowany jest z jednej strony wykształceniem litologicznym skał podłoża, z drugiej rzeźbą terenu, głównie kształtem i nachyleniem stoków. Decydujące znaczenie, zwłaszcza w przypadku płytkich zsuwów zwiertzeliny oraz spływów błotnych, ma prawdopodobnie miąższość pokryw zwiertzelinowych oraz warunki hydrogeologiczne w ich obrębie. Znaczenie tektoniki w procesach osuwiskowych na badanym obszarze jest trudne do określenia. Jej rola w porównaniu z wyżej opisywanymi rejonami Karpat fliszowych wydaje się być dużo mniejsza.

Zróźnicowanie rzeźby oraz budowy geologicznej polskich Karpat fliszowych determinuje różnorodność ruchów osuwiskowych na tym obszarze. Badania terenowe zrealizowane w czterech wytypowanych regionach Karpat oraz przeprowadzona analiza GIS, wykazały szereg prawidłowości w rozwoju osuwisk. Jednym z ważniejszych czynników mających wpływ na powstawanie i rozwój tego typu form w warunkach karpackich jest litologia podłoża. Zależność ta jest doskonale widoczna w Beskidzie Niskim, gdzie osuwiska uwarunkowane są występowaniem skał o ogniwach łupkowych głównie pstrych łupków. Obecność plastycznych i nieprzepuszczalnych skał nie zawsze sprzyja ruchom osuwiskowym. W niektórych częściach Karpat osuwiska występują na dużej skalę na stokach zbudowanych z warstw o ogniwach piaskowcowych. Tak jest w przypadku zachodniej części płaszczowiny magurskiej na obszarze Beskidu Żywieckiego. Osuwiska tu występujące uwarunkowane są głównie obecnością w podłożu piaskowców magurskich oraz piaskowców ze Szczawiny. Szczególnie predysponowane do rozwoju osuwisk są strefy kontaktu różnych utworów geologicznych. Osuwiskowość obszarów fliszowych zdecydowanie wzrasta w sytuacji gdy wodonośne piaskowcowe podścielone są przez nieprzepuszczalne warstwy o ogniwach łupkowych. Obok litologii utworów skalnych czynnikiem równie ważnym w powstawaniu zsuwów jest tektonika. Osu-

wiska w Karpatach wyraźnie dowiązują morfologią, kierunkiem ruchu oraz położeniem do stref uskokowych. Istotne znaczenie mają również strefy dyslokacji tektonicznych, spękania ciosowe oraz upad warstw skalnych. Dotyczy to szczególnie zsuwów skalno-zwietrzelinowych, a powiązania tego typu są najlepiej widoczne na Podhalu, gdzie przeprowadzono szereg badań poświęconych temu zagadnieniu. Znaczenie tektoniki z punktu widzenia osuwisk jest równie duże w innych regionach polskich Karpat fliszowych, w Beskidzie Żywieckim czy w Beskidzie Niskim. Tektonika oraz litologia, a w szczególności różnice w odporności skał budujących podłoże w dużej mierze determinują styl rzeźby. Prawidłowość ta dotyczy praktycznie całego obszaru Karpat fliszowych. Osuwiska w warunkach karpackich najliczniej występują na stokach o nachyleniu $9-14^{\circ}$ oraz $15-25^{\circ}$, na zboczach o kształcie wypukłym lub wklęsłym. Płytkie zsuwy zwietrzeliny oraz spływy błotne wykształciły się na stokach o większym nachyleniu, często powyżej 25° w strefie załomu pomiędzy wierzchowiną, a stromym zboczem doliny. Współczesny rozwój wielu form osuwiskowych związany jest z erozją rzeczną i dotyczy głównie osuwisk położonych w lejach źródłowych potoków.

6. ZASTOSOWANIE MAP PODATNOŚCI OSUWISKOWEJ W PLANOWANIU PRZESTRZENNYM

Duża liczba osuwisk w Karpatach polskich i związane z nimi straty materialne wynikające ze zniszczenia mienia oraz likwidacji skutków ruchów osuwiskowych prowadzą do szukania tańszych rozwiązań mającym zapobiega tego typu procesom. Jedną z metod, która może w sposób skuteczny i tani ograniczyć niekorzystne skutki ruchów osuwiskowych jest opracowanie map podatności na osuwanie. Jest to rodzaj prewencji i minimalizacji strat związanych z niekorzystną lokalizacją zabudowy na stokach. Wyznaczenie terenów zagrożonych przez potencjalne ruchy masowe, zmniejszą straty w przyszłości nie dopuszczając do inwestowania i budowy domów mieszkalnych na tych terenach. Mapy tego typu powinny stanowić podstawę miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego gmin karpackich. Pracujący tam urzędnicy powinni przejść przeszkolenie z zakresu zagrożenia ruchami osuwiskowymi. Równie ważnym elementem mogącym w sposób znaczący wpłynąć na ograniczenie strat związanych z działalnością procesów osuwiskowych jest wzrost świadomości mieszkańców żyjących w strefach zagrożenia. Ludzie powinni być dobrze poinformowani o istniejącym niebezpieczeństwie podobnie jak w UE, gdzie propagowany jest program *living with natural hazard* (Poprawa, Rączkowski 2003). Aspekt ten jest szczególnie ważny, ze względu na prawie całkowity brak wiedzy o osuwiskach u lokalnych społeczności oraz szybkie wymazywanie z pamięci niekorzystnych zdarzeń, które miały miejsce w przeszłości.

Mapy podatności na osuwanie w Polsce wciąż należą do rzadkości. Pomimo dużych strat materialnych w Karpatach problem ten wydaje się być lekceważony. Tak było przez ostatnie dziesięciolecia. Dopiero ostatnie lata, w których notowano wysokie sumy opadów, powodzie i związane z nimi ruchy osuwiskowe doprowadziły do zainteresowania lokalnych władz tym problemem. Zainteresowanie tą tematyką w ciągu kilku ostatnich lat można również zaobserwować wśród specjalistów z zakresu nauk o Ziemi.

Najważniejszą jednostką naukowo-badawczą, która zajmuje się problematyką osuwisk w polskich Karpatach fliszowych jest Państwowy Instytut Geologiczny. Oddział Karpacki tego instytutu prowadzi od końca lat sześćdziesiątych rejestrację osuwisk wzdłuż szlaków komunikacyjnych, oraz w obrębie zwartej zabudowy mieszkalnej. Rejestracja ta jest kontynuowana

w ramach prac nad *Szczegółową Mapą Geologiczną Polski* w skali 1: 50 000 oraz prac projektowych karpackich zbiorników wodnych. Instytut realizuje również projekty zlecone. W ramach prac finansowanych przez NFOŚiGW przystąpiono do regularnego monitoringu wybranych osuwisk na stokach karpackich (Poprawa, Rączkowski 2003). Organizowane są również konferencje mające na celu zapoznanie administracji terenowej z problematyką osuwisk, ich znaczenia dla rozwoju infrastruktury oraz przede wszystkim na konieczność uwzględnienia problematyki osuwiskowej w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego (Poprawa i in. 2000). W latach 2001–2004 Państwowy Instytut Geologiczny, wspólnie z badaczami z Portugalii, Włoch, Hiszpanii, Francji i Holandii, realizował projekt *ALARM – Assessment of Landslide Risk and Mitigation in Mountain Areas* (Ocena zagrożeń osuwiskowych i przeciwdziałanie ich skutkom w obszarach górskich). Celem tego projektu realizowanego w ramach 5 Ramowego Programu Unii Europejskiej było m. in. opracowanie dla wybranych rejonów Karpat map zagrożeń procesami geodynamicznymi oraz zapoznanie się z prawodawstwem w krajach UE w zakresie osuwisk i zagrożeń powstających w ich wyniku oraz warunków ubezpieczeniowych od ryzyka i rekompensat za zniszczenia (Poprawa, Rączkowski 2003). Opracowana w ramach tego projektu mapa podatności na osuwanie dla zlewni Bystrzanki w Beskidzie Niskim była jak dotąd jedyną mapą tego typu w polskich Karpatach fliszowych (Mrozek i in. 2004).

Obecnie Państwowy Instytut Geologiczny na zlecenie Ministerstwa Środowiska realizuje projekt SOPO (System Ochrony Przeciw Osuwiskowej). Projekt ma zasięg ogólnopolski i składa się z trzech etapów. Jego podstawowym celem jest rozpoznanie, udokumentowanie i zaznaczenie na mapie w skali 1:10 000 wszystkich osuwisk oraz terenów potencjalnie zagrożonych ruchami masowymi w Polsce oraz założenie systemu monitoringu wgłębnego i powierzchniowego na 100 wybranych osuwiskach. Projekt ma za zadanie również wspomaganie władz lokalnych w wypełnianiu obowiązków dotyczących problematyki ruchów masowych wynikających z odpowiednich ustaw i rozporządzeń. Aktualnie realizowany jest etap drugi zadania, który polega na kartowaniu ruchów masowych na mapach w skali 1:10 000, wprowadzaniu danych o osuwiskach do elektronicznej bazy danych oraz na zakładaniu systemu monitoringu na wybranych osuwiskach. Efektem tych prac będą mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami osuwiskowymi sporządzone dla 197 gmin karpackich. W etapie pierwszym omawianego projektu wydano instrukcje do opracowania *Mapy Osuwisk i Terenów Zagrożonych* (MOTZ) ruchami masowymi w skali

1:10 000, która zawiera jednolitą metodykę prowadzenia kartograficznych prac terenowych. Instrukcja wykonywania MOTZ po akceptacji Ministra Środowiska została rozesłana do starostów powiatowych odpowiedzialnych za prowadzenie rejestru terenów zagrożonych ruchami masowymi. Podstawowym celem instrukcji jest przedstawienie jednolitych zasad opracowania map osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi oraz monitoringu tych form. Planowany termin zakończenia projektu SOPO jest przewidziany na rok 2016 (Grabowski i in. 2008).

Wydana instrukcja do kartowania ruchów osuwiskowych jest pierwszym opracowaniem tego typu w Polsce. Praca ta ma bardzo duże znaczenie, gdyż pozwoli w sposób jednolity i pełny na rejestrację osuwisk w całych Karpatach. Ujednolicenie zasad postępowania pozwoli uniknąć błędów merytorycznych i umożliwi prawidłowe katalogowanie osuwisk w bazie danych. Opracowane mapy osuwisk w oparciu o wspomnianą instrukcję powinny stanowić podstawę do stworzenia map podatności na osuwanie poszczególnych gmin karpackich. W tym celu możliwe jest wykorzystanie metod badań przedstawionych w niniejszej pracy. Dokładna mapa osuwisk oraz zebrane mapy czynników pasywnych kontrolujących ruchy osuwiskowe na danym obszarze pozwolą na szybkie i dokładne opracowanie map podatności na osuwanie danej gminy. Dobór metod badawczych zależy w dużej mierze od dostępnych danych oraz od wielkości obszaru, dla którego przeprowadza się analizę. Podczas opracowywania tego typu map należy pamiętać o zróżnicowaniu czynników pasywnych mających wpływ na ruchy osuwiskowe w poszczególnych rejonach Karpat oraz o różnorodności ruchów masowych, dla których wykonujemy tego typu opracowanie. Informacje te w sposób istotny modyfikują zakres przeprowadzonych prac i dobór materiałów źródłowych. Zatem przy sporządzaniu map zagrożeń geodynamicznych, w tym map podatności na osuwanie oraz map ryzyka osuwiskowego należy pamiętać, aby mapy te uwzględniały typ form i ich zróżnicowanie w polskich Karpatach fliszowych, urozmaiconą rzeźbę, złożoną litologię oraz skomplikowaną tektonikę tego rozległego regionu górskiego.

:

7. WNIOSKI

Na podstawie zestawienia głównych czynników pasywnych opracowano mapę podatności na osuwanie dla polskich Karpat fliszowych. Jest to pierwsza mapa tego typu, przedstawiająca rozmieszczenie obszarów podatnych na osuwanie dla tak rozległego obszaru górskiego. Z uwagi na skalę opracowania, jest to jedynie poglądowy obraz stref potencjalnego wystąpienia ruchów osuwiskowych.

Znacznie lepsze rezultaty dają badania przeprowadzone w większej skali, przy użyciu metod ilościowych, gdzie podstawę badań stanowi szczegółowa mapa osuwisk. Potwierdziły to prace przeprowadzone w obrębie czterech wybranych obszarów badawczych. Końcowe mapy przedstawiają rejony, gdzie możliwość wystąpienia potencjalnych ruchów osuwiskowych jest największa.

Obok litologii warstw skalnych czynnikiem równie ważnym w powstawaniu zsuwów jest tektonika. Osuwiska w Karpatach wyraźnie dowiązują morfologią, kierunkiem ruchu oraz położeniem do stref uskokowych. Istotne znaczenie mają również strefy dyslokacji tektonicznych, spękania ciosowe oraz upad warstw skalnych. Powiązania tego typu najlepiej są widoczne na Podhalu.

Różnice w odporności skał oraz skomplikowana tektonika determinują styl rzeźby prawie całego obszaru Karpat fliszowych. Osuwiska w warunkach karpackich najliczniej występują na stokach o nachyleniu 9–14° oraz 15–25°, na stokach o kształcie wypukłym lub wklęsłym.

Badania terenowe oraz analizy GIS nie wykazały bezpośredniego związku występowania osuwisk z szatą roślinną. Pogląd o roli lasu jako czynnika zabezpieczającego stok przed osuwaniem nie znalazł potwierdzenia w żadnym z czterech obszarów badawczych.

Rzeczą szczególnie ważną z punktu widzenia ochrony przeciwosuwiskowej jest opracowanie dokładnych map osuwisk oraz obszarów podatnych na osuwanie. Pozwoli to w przyszłości na wyeliminowanie terenów całkowicie nieprzydatnych pod zabudowę lub lokalizację inwestycji, co będzie skutkowało mniejszymi startami finansowymi. Mapy tego typu powinny stanowić stały element miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego gmin karpackich.

Przy sporządzaniu map zagrożeń geodynamicznych, w tym map podatności na osuwanie oraz map ryzyka osuwiskowego na obszarze Karpat, możliwe jest wykorzystanie różnych metod badawczych. Rzeczą bardzo ważną jest, aby metody te uwzględniały typ form i ich zróżnicowanie w Karpatach fliszowych, urozmaiconą rzeźbę, złożoną budowę geologiczną oraz skomplikowaną tektonikę tego rozległego obszaru górskiego.

LITERATURA

- Adamczyk M., 1979, *Zmiany w krajobrazie Karpat w latach 1650-1870*, Wierchy, 47, s. 160–175.
- Ayalew L., Yamagishi H., Ugawa N., 2004, *Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan*, *Landslide* 1, Springer-Verlag, s. 73–81.
- Badak J., 1964, *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000*, *Arkusz Czarny Dunajec M34-88D*, Państwowy Instytut Geologiczny.
- Bajgier-Kowalska M., 2004–2005, *Rola gospodarczej działalności człowieka w powstawaniu i odmładzaniu osuwisk w Karpatach fliszowych*, *Folia Geographica, Series Geogr.-Physica*, Vol. XXXV-XXXVI, s. 11–30.
- 2006, *Destrukcyjny wpływ osuwisk na zabudowę i infrastrukturę techniczną na przykładzie Karpat fliszowych*, *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich*, 53, s. 183–196.
- Balzer A., 1875, *Über die Bergsturze in den Alpen*, *Schweitzer Alpenclub*, 10, s. 409–465.
- Baumgart-Kotarba M., 1983, *Zróżnicowanie koryt i teras rzecznych w warunkach zróżnicowanych ruchów tektonicznych (na przykładzie wschodniego Podhala)*, *Prace Geograficzne*, 145, IG i PZ PAN, s. 133.
- Bober L., 1971, *Structural landslide in Podhale Region (Polish Inner Carpathians)*, *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 15, Budapest, s. 389–403.
- 1975, *Metody rozpoznawania budowy geologicznej zboczy osuwiskowych w Lipowicy, Kotelnicy i Dobczycach*, *Materiały badawcze IMGW, Seria specjalna*, 4.
- 1977, *O niektórych osuwiskach Beskidu Niskiego na południe od Dukli*, *Sprawozdanie z posiedzenia Komisji Naukowej PAN – Oddz. Kraków*, t. 20/1.
- 1984, *Rejony osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych i ich związek z budową geologiczną regionu*, *Biuletyn Instytutu Geologicznego* 340, XXIII, s. 115–161.
- 1985, *Mapa osuwiskowości polskich Karpat fliszowych – skala 1:200 000*, Instytut Geologiczny Oddział Karpacki, Kraków (opracowanie wewnętrzne).
- 1986, *Występowanie osuwisk i metodyka ich badania, Wprowadzenie do problematyki wycieczki C*, Przewodnik LVII Zjazdu PTG – Pieniny.
- 1990, *Monografia osuwisk karpackich*, Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Karpacki, Kraków, (opracowanie wewnętrzne).
- Bober L., Thiel K., Zabuski L., 1997, *Zjawiska osuwiskowe w polskich Karpatach fliszowych*, Instytut Budownictwa Wodnego PAN, s. 102.

- Bober L., Wójcik A., 1977, *Structural landslides in the region of the Prusów Ridge (Beskid Żywiecki Mts.)*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, vol. XI, s. 155–167.
- Bonham-Carter G.F., Agteberg F.P., Wright D.F., 1989, *Weight of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential*, *Statistical Applications in the Earth Sciences* (eds. F.P. Agteberg, G.F. Bonham-Carter), Geological Survey of Canada Paper, 89, s. 171–183.
- Boretti-Szumańska W., 1960, *Osuwisko Karpęciny koło Bukowiny. Zbiór prac i komunikatów*, *Prace Muzeum Ziemi*, 1, s. 75–89.
- Burtan J., Golonka J., Oszczypko N., Paul Z., Ślącza A., 1981, *Mapa Geologiczna Polski w skali 1:200 000*, *Arkusz Nowy Sącz*, Państwowy Instytut Geologiczny.
- Burtan J., Sokołowski S., Sikora W., Żytka K., 1956, *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000*, *Arkusz Milówka M34-87A*, Państwowy Instytut Geologiczny.
- Carrara A., 1983, *Multivariate models for landslide hazard evaluation*, *Mathematical Geology*, 15, s. 403–427.
- 1988, *Landslide hazard mapping by statistical method. A black box approach*, [w:] *Workshop on Natural Disasters in European Mediterranean Countries*, Perugia, Italy, s. 205–224.
- 1992, *Landslide hazard assessment*, [w:] *Proceedings 1st Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de Informacion Geografica (SIG) para el estudio de Reisgos Naturales*, Bogota, Colombia, s. 329–355.
- Carrara A., Guzzetti F., Cardinali M., Reichenbach P., 1999, *Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scaled, Central Italy*, *Geomorphology*, 31, 1/4, s. 181–216.
- Chełmicki W., Skąpski R., Soja R., 1998–1999, *Reżim hydrologiczny rzek karpaccich w Polsce*, *Folia Geographica. Series Geographica Physica*, 29/30, s. 67–80.
- Clerici A., Perygo S., Tellini C., Vescovi P., 2002, *A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method*, *Geomorphology*, 48, s. 349–364.
- Crozier M.J., Glade T., 2005, *Landslide hazard and risk: issues, concepts and approach*, [w:] T. Glade, M. Anderson, M. Crozier (red.), *Landslide Hazard and Risk*, Wiley&Sons, s. 1–40.
- Dikau R., Brunsden D., Schrott L., Ibsen L.M., (eds), 1996, *Landslide recognition: identification, movement and causes*, Wiley & Sons, s. 251.
- Dobija A., 1981, *Sezonowa zmienność odpływu w zlewni górnej Wisły (po Zawichost)*, *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 53, s. 51–112.
- Dobosz W., Thiel K., 1971, *Zagadnienie stateczności zboczy skalnych przy prognozowaniu osuwisk skalnych*, *Rozprawy Hydrotechniczne*, 29.
- Dynowska I., 1975, *Wody*, [w:] J. Warszyńska (red.), *Karpaty Polskie. Przyroda, człowiek i jego działalność*, Wyd. Uniw. Jagiellońskiego, Kraków, s. 49–67.
- Dynowski J., Kwiek M., 1963, *Charakterystyka hydrograficzna zlewni Budziszka*, *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 7, s. 45–75.
- Flis J., 1958, *Formy terenu wywołane grawitacyjnymi ruchami mas skalnych w Sądeczyźnie*, *Rocznik Naukowo-Dydaktyczny WSP, Kraków*, s. 35–53.
- Gerlach T., Pokorny J., Wolnik R., 1958, *Osuwisko w Lipowicy*, *Przegląd Geograficzny*, XXX, 4, s. 685–700.

- Gil E., 1994, *Meteorologiczne i hydrologiczne warunki ruchów osuwiskowych*, Conference Papers, IG i PZ PAN, 20, s. 89–102.
- Gil E., Długosz M., 2006, *Threshold values of rainfalls triggering selected deep-seted landslide in the Polish Flysch Carpathians*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 40, s. 21–43.
- Gil E., Gilot E., Kotarba A., Starkel L., Szczepanek K., 1974, *An early Holocene landslide in the Beskid Niski and its significance for paleogeographical reconstruction*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 23, s. 139–152.
- Gil E., Kotarba A., 1977, *Model of slide slope evolution in flysch mountains (An example drawn from the Polish Carpathians)*, *Catena*, 4, 3, Giessen, s. 233–248.
- 1979, *Model dynamicznego stoku osuwiskowego w obszarze fliszowym (przykład z polskich Karpat)*, *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, 222, s. 25–38.
- Gil E., Starkel L., 1979, *Long-term extreme rainfalls and their role in the modelling of flysch slopes*, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 13, s. 207–220.
- Glade T., 1998, *Establishing the Frequency and Magnitude of Landslides – Triggering Rainstorm Events in New Zealand*, *Environmental Geology*, 35 (2/3), s. 160–174.
- Glade T., Crozier M., Smith P., 2000, *Applying probability to refine landslide – Triggering rainfall Threshold using an empirical “Antecedent daily rainfall model”*, *Pure and Applied Geophysics*, 157, s. 1059–1079.
- Golonka J., Borysławski A., Paul Z., Ryłko W., 1978, *Mapa Geologiczna Polski w skali 1:200 000, Arkusz Bielsko-Biała*, Państwowy Instytut Geologiczny.
- Gołąb J., 1954, *Flisz Podhala na zachód od Białego Dunajca*, Archiwum Instytutu Geologicznego Oddział Karpacki w Krakowie.
- 1959, *Zarys stosunków geologicznych fliszu zachodniego Podhala*, *Biuletyn IG*, 149, V, s. 225–240.
- Gorczyca E., 2004, *Przekształcenie stoków fliszowych przez procesy masowe podczas katastrofalnych opadów (dorzecze Łososiny)*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, s. 101.
- Grabowski D., Marciniak P., Mrozek T., Neścieruk P., Rączkowski W., Wójcik A., Zimnal Z., 2008, *Instrukcja opracowania mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi*, *PIG*, s. 92.
- Gucik S., Paul Z., Ślęczka A., Żytko Z., 1979, *Mapa Geologiczna Polski w skali 1: 200 000, Arkusz Przemysł*, Państwowy Instytut Geologiczny.
- Guterch B., Lewandowska-Marciniak H., 2002, *Seismicity and seismic hazard in Poland*, *Folia Quaternaria*, 73, s. 85–99.
- Hansen A., 1984, *Landslide hazard analysis*, [w:] D. Brundsen, D.B. Prior (red.), *Slope instability*, s. 523–601.
- Hess M., 1965, *Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich*, *Zeszyty Naukowe UJ*, 11, s. 260.
- Howe E., 1909, *Landslides in the San Juan Mountains, Colorado*, US Geological Survey. Professional. Papers, 67, s. 68.
- Ilwis 3,0 Academic – User Guide*, 2001, Unit Geo Software Development, Sector Remote Sensing & GIS, IT Department, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Enschede, The Netherlands, s. 530.
- Jakubowski K., 1964, *Płytkie osuwiska zwietrzelinowe na Podhalu*, *Prace Muzeum Ziemi*, 6, s. 113–152.

- 1965, *Wpływ pokrycia roślinnego oraz opadów atmosferycznych na powstawanie osuwisk zwietrzelinowych*, Przegląd Geologiczny, 9, s. 395–398.
- 1967, *Badania nad przebiegiem wtórnych przeobrażeń form osuwiskowych na obszarach fliszu karpackiego*, Prace Muzeum Ziemi, 11, s. 223–242.
- 1968, *Rola płytkich ruchów osuwiskowych zwietrzeliny w procesach zboczowych na terenie wschodniego Podhala*, Prace Muzeum Ziemi, 13, s. 173–314.
- Jasionowicz J., Kuciński T., 1965, *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1: 50 000, Arkusz Ropczyce M34-68C*, Państwowy Instytut Geologiczny.
- Jasionowicz J., Kuciński T., Szymakowska F., 1964, *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, Arkusz Fryszak M34-80A*, Państwowy Instytut Geologiczny.
- Jurkiewicz H., Woiński J., 1979, *Mapa Geologiczna Polski w skali 1:200 000, Arkusz Mielec*, Państwowy Instytut Geologiczny.
- Kamiński M., 2006 *Analiza GIS osuwiska dla wybranego obszaru Pogórza Dynowskiego*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 16, s. 279–287.
- 2007, *Mapa podatności osuwiskowej – studium z regionu Jodłówki (Pogórze Dynowskie)*, Przegląd Geologiczny, 9, s. 779–784.
- Katalog osuwisk – województwo krakowskie i rzeszowskie*, 1975, Praca zbiorowa O.K., Państwowy Instytut Geologiczny, Kraków.
- Kępińska B., 2006, *Warunki termiczne i hydrotermalne podhalańskiego systemu geotermalnego*, Studia, Rozprawy, Monografie, 135, PAN, s. 101.
- Kleczkowski A., 1955, *Osuwiska i zjawiska pokrewne*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, s. 93.
- Klimaszewski M., 1952, *Rzeźba Podhala*, Czasopismo Geograficzne, 22/23, Wrocław.
- 1968, *The unified key to the detailed geomorphological map of the world 1:25 000 –1:50 000*, Folia Geographica Series Geographica-Physica, vol. II, s. 40.
- 1978, *Geomorfologia*, PWN, Warszawa.
- Klimek K., Kotarba A., Obrębska-Starkel B., Starkel L., 1969, *Analiza i ocena środowiska geograficznego Powiatu Ropczyckiego*, Dokumentacja Geograficzna, 2/3, s. 136.
- Kondracki J., 1978, *Geografia fizyczna Polski*, PWN, Warszawa.
- Kotański Z., Piotrowska K., Piotrowski P., 1997, *Mapa Geologiczna Polski w skali 1:200 000, Arkusz Tatry Zachodnie i Wysokie*, Państwowy Instytut Geologiczny.
- Kotarba A., 1986, *Rola osuwisk w modelowaniu rzeźby beskidzkiej i pogórskiej*, Przegląd Geograficzny, LVIII, 1/2, s. 119–129.
- Kozikowski H., 1956, *Geologia płaszczowiny magurskiej i jej okien tektonicznych na południowy zachód od Gorlic*, Z Badań Geologicznych w Karpatach, 1, s. 27–91.
- Książkiewicz M., 1972, *Budowa geologiczna Polski, Tom IV: Tektonika, cz. 3, Karpaty*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Kukulak J., 1988, *Powiązania morfostrukturalne w rozwoju osuwisk zachodniego Podhala*, Folia Geographica, Series Geographica-Physica, 20, s. 33–49.
- Mastella L. 1975a, *Tektonika fliszu we wschodniej części Podhala*, Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, 45, s. 361–401.
- 1975b, *Osuwiska konsekwentno-strukturalne na wschodnim Podhalu*, Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, 4.

- Michalik A., 1962, *Osuwisko w Cichem na Podhalu*, Roczniki Naukowo-Dydaktyczne, WSP, Prace Geograficzne, 10, s. 49–55.
- Michalik A., Wiesser T., 1959, *Tufty we fliszu podhalańskim*, Kwartalnik Geologiczny, 3, 2.
- Migoń P., 2006, *Geomorfologia*, PWN, Warszawa, s. 461.
- Montovani F., Soetres R., Van Westen C.J., 1996, *Remote sensing techniques for landslides studies and hazard zonation in Europe*, Geomorphology, 15, s. 213–225.
- Mrozek T., 2008, *Ocena zagrożenia osuwiskowego i związanego z nim ryzyka przy wykorzystaniu metod GIS na przykładzie okolic Szymbarku, Beskid Niski*, Maszynopis pracy doktorskiej, Państwowy Instytut Geologiczny, Kraków, s. 186.
- Mrozek T., Poli S., Sterlacchini S., Zabuski L., 2004 *Landslide susceptibility assessment: a case study from Beskid Niski Mts., Carpathians, Poland*, Polish Geological Institute Special Papers, 15, s. 13–18.
- Mrozek T., Rączkowski W., Limanówka D., 2000, *Recent landslides and triggering climatic conditions in Laskowa and Pleśna regions, Polish Carpathians*, Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, 34, s. 89–109.
- Nemčok A., Pašek J., 1972, *Clasification of landslides and other mass movements*, Rock Mechanics, 4 (2), s. 71–78.
- Neścieruk P., Paul Z., Ryłko W., Szymakowska F., Wójcik A., Żyto K., 1992, *Mapa Geologiczna Polski w skali 1:200 000, Arkusz Jasło*, Państwowy Instytut Geologiczny.
- Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., 1991, *Klimat*, [w:] I. Dynowska, M. Maciejowski (red.), *Dorzecze górnej Wisły, cz. I*, PWN, Warszawa-Kraków, s. 68–4.
- Oszczytko N., 1971, *Rejony osuwiskowe na tle budowy geologicznej Karpat, skrót referatu*, Kwartalnik Geologiczny, 15, 4, s. 1035–1037.
- Oszczytko N., Golonko J., Zuchiewicz W., 2002, *Osuwisko w Lachowicach (Beski dy Zachodnie): skutki powodzi z 2001 r.*, Przegląd Geologiczny, 50 (10/1), s. 893–898.
- Pike R.J., Graymer R.W., Sobieszczyk S., 2003, *A simple GIS model for mapping landslides susceptibility*, Concepts and Modelling in Geomorphology: International Perspectives, Tokyo, s. 185–197.
- Poprawa D., Rączkowski W., 2003, *Osuwiska Karpat*, Przegląd Geologiczny, 51, 8, s. 685–692.
- Poprawa D., Rączkowski W., Graniczny M., Doktor S., 2000, *Propozycja rejestracji zjawisk i założenia monitoringu osuwiskowego w gminach, powiatach, regionach*, Mat. Konf. „Prognozowanie i przeciwdziałanie skutkom ruchów osuwiskowych”, Kraków 7 września 2000 r., Kancelaria Prezesa Rady Ministrów, PiG.
- Rączkowski W., 2007, *Landslide hazard in the Polish flysch Carpathians*, Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, 41, s. 61–76.
- Rączkowski W., Mrozek T., 2002, *Activating of landsliding in the Polish Flysch Carpathians by the end of the 20th century*, Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, 36, s. 91–111.
- Ryłko W., Paul Z., 1992, *Mapa Geologiczna Polski w skali 1:200 000, Arkusz Cieszyn*, Państwowy Instytut Geologiczny.

- Sawicki L., 1917, *Osuwiska ziemne w Szymbarku i inne zsuwy powstałe w r. 1913 w Galicji zachodniej*, Rozprawy Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego Akademii Umiejętności, seria 3, dz. A, s. 227–313.
- Schramm W., 1925, *Zsuwiska stoków górskich w Beskidzie, Wielkie zsuwisko w lesie wsi Duszatyn ziemi sanockiej*, Kosmos, Lwów, s. 1355–1374.
- Sikora W., 1964, *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, Arkusz Gorlice M34-91A*, Państwowy Instytut Geologiczny.
- 1970, *Badanie geologiczne płaszczowiny magurskiej między Szymbarkiem Ruskim a Nawojową*, Z badań geologicznych w Karpatach, 12, Biul. Inst. Geol., 235, s. 5–121.
- Sikora W., Żytko K., 1960, *Budowa Beskidu Wysokiego na południe od Żywca*, Biuletyn Instytutu Geologicznego, 141.
- Soja R., 1983, *Środowisko przyrodnicze okolic Sędziszowa Małopolskiego*, [w:] K. Barczewski (red.), *Szkice z dziejów Sędziszowa Młp. i okolic*, s. 11–28.
- Starkel L., 1957, *Rozwój morfologiczny progów Pogórza Karpackiego między Dębicą a Trzcianą*, IG PAN, Prace Geograficzne, 11, s. 152.
- 1972, *Charakterystyka rzeźby polskich Karpat i jej znaczenie dla gospodarki ludzkiej*, Problemy Zagospodarowania Ziemi górskich, 10, s. 75–150.
- Ślęczka A., Żytko K., 1978, *Mapa Geologiczna Polski w skali 1:200 000, Arkusz Łupków*, Państwowy Instytut Geologiczny.
- Śliwa P., 1955, *Osuwisko Bachledzkiego Wierchu w Zakopanem*, Biuletyn Instytutu Geologicznego, 96, s. 61–108.
- Śliwa P., Wilk Z., 1954, *Osuwisko w Bańskiej Wyżnej na Podhalu*, Biuletyn Instytutu Geologicznego, 86.
- Świdziński H., 1953, *Karpaty fliszowe między Dunajcem a Sanem*, Regionalna Geologia Polski, 1 – Karpaty.
- Teisseyre H., 1936, *Materiały do znajomości osuwisk w niektórych okolicach Karpat i Podkarpacia*, Posiedzenie Naukowe PIG, 45, s. 34–37.
- Thiel K., 1989, *Kształtowanie fliszowych stoków karpackich przez ruchy masowe – na przykładzie badań na stoku Bystrzyca w Szymbarku*, Prace Instytutu Budownictwa Wodnego PAN, 17.
- Woiński J., 1988, *Mapa Geologiczna Polski w skali 1:200 000*, Arkusz Rzeszów, Państwowy Instytut Geologiczny.
- Wojciechowski T., 2000, *Niektóre problemy związane z osuwiskami w projektach modernizacji drogi Żywiec-Zwardoń na terenie Beskidów Śląskiego i Żywieckiego*, Zeszyty naukowo-Techniczne Oddziału Krakowskiego Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji, 35 (76), s. 123–135.
- Wójcik A., 1997, *Osuwiska w dorzeczu Koszarawy – strukturalne i geomorfologiczne ich uwarunkowania (Karpaty Zachodnie, Beskid Żywiecki)*, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 376, s. 5–42.
- 2002, *Litologiczne uwarunkowania rozwoju osuwisk na terenie płaszczowiny magurskiej w dorzeczu Koszarawy (Karpaty Zachodnie)*, Materiały konferencyjne: XXIV Konferencja Naukowo Techniczna Podkomitetu Mechaniki Skał i Podłoża Polskiego Komitetu Wielkich Zapór, Żywiec, s. 115–126.
- Wójcik A., Rączkowski W., 2001, *Osuwiska w dolinie Wisłoki na terenie projektowanego zbiornika w Kątach (Beskid Niski)*, Przegląd Geologiczny, 49, s. 389–394.

- Wrońska D., 2004-2005, *Wpływ procesów osuwiskowych na działalność człowieka oraz szatę roślinną Magurskiego Parku Narodowego*, Folia Geographica, Series Geographica-Physica, 35/36, s. 31–52.
- Van Westen C.J., 1993, *Application of geographic information systems to landslide hazard zonation*, PhD Dissertation, Technical University Delft, ITC-Publication Number, 15, ITC, Enschede, The Netherlands.
- 1994, *GIS in landslide hazard zonation: a review, with examples from the Andes Colombia*, [w:] M.F. Price, D.I. Heywood (red.), *Mountain environments, Geographic Information System*, Taylor&Francis, Londyn, s. 132–165.
- 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., Rengers N., Soeters R., 2003, *Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment*, Natural Hazards, 30, s. 399–419.
- Van Westen C.J., Seijmonsbergen A.C., Mantovani F., 1999, *Comparing landslide hazard maps*, Natural Hazards, 20, s. 137–158.
- Varnes D.J., 1978, *Slope movement types and processes*, [w:] R.L. Schuster, R.J. Krizek (eds), *Landslides: analysis and control*, Special Rep. 176, Transportation Research Board, Nat. Acad. of Science, Washington, s. 12–33.
- 1984, *Landslide hazard zonation : a review of principles and practice*, Natural Hazards 3, Paris, Commission on Landslides of the IAEG, Unesco, s. 63.
- Zabuski L., Thiel K., Bober L., 1999, *Osuwiska we fliszu Karpat polskich*, Wydawnictwo Instytutu Budownictwa Wodnego PAN, Gdańsk, s. 171.
- Ziętara T., 1964, *O odmłodzeniu osuwisk w Beskidach Zachodnich*, Przegląd Geograficzny, 22, s. 55–86.
- 1968, *Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby Beskidów*, Prace Geograficzne IG PAN, 60, s. 1–116.
- 1973, *Obszary osuwiskowe w dolinie Dunajca nad Jeziorem Rożnowskim*, Rocznik Sądecki, XIV, s. 685–712.
- 1974, *Rola osuwisk w modelowaniu Pogórza Rożnowskiego (Zachodnie Karpaty Fliszowe)*, Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, 8, s. 115–129.
- 1994, *Niszczenie brzegów zbiornika Besko przez współczesne procesy geomorfologiczne*, Prace Geograficzne WSP Kraków.
- Zuber R., Blauth J., 1907, *Katastrofa w Duszatynie*, Czasopismo Techniczne, 25, Lwów, s. 218–221.

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY IN THE POLISH CARPATHIANS

Summary

Landslides are a common and serious problem in the Polish Flysch Carpathians and their foothills. The character of the relief (deep river valleys, slope gradients) and geological settings in terms of both lithology (flysch complexes) and tectonics (rock formations, dislocation lines, faults and joins) especially favours landslides in this area (Rączkowski et al. 2002). Although the Polish Carpathians amount to only 6% of the country area, over 90% of all forms of mass movements recorded in Poland concentrate on mountain slopes and river valley sides of this region. The number of landslides in the study area are estimated to

be over 20 000 which makes 20% of Polish Carpathians Mts. area (Mrozek et. al. 2000). To reduce landslide hazard, to make mitigation and prevention measures effective and to allow for sustainable development of such regions, it is substantial to delimit landslide susceptible areas.

It is possible to reduce the negative effects of mass movements only if a detailed research on distribution, characteristics, and the degree of intensity of landslides in the particular place and time is made (Van Westen 1994).

Many techniques have been proposed in the literature for landslide hazard zoning (Hansen 1984; Van Westen 1993). These can be generally divided into two groups:

1. Direct hazard mapping, in which the degree of hazard is determined by the mapping geomorphologist, based on his experience and knowledge of the terrain conditions.
2. Indirect hazard mapping, in which either statistical or deterministic models are used to predict landslide prone areas, based on information obtained from interrelation between landscape factors and the landslide distribution.

The aim of this paper is to create a landslide susceptibility maps of the Polish Carpathians Mountain to illustrate most hazardous regions in the study area and show their spatial distribution using different methods and different scale of analysis.

This study used several methods in relation to the objectives and the scale of development. Research was made in two steps. Field work was made in the first phase and GIS analysis in the second phase. The application of geographic information systems (GIS) is an essential tool for the data analysis of the causative factors. All GIS analysis was made using the Integrated Land and Water Information System ILWIS 3.4.

Differentiation of relief and geology of the Polish Carpathians determines the diversity of landslide movement in the area. One of the major factors affecting the formation and development of this type of form in the Carpathian is the lithology. This can be noticed in Beskid Mts., where landslides occur in the slopes build from flysch complex of rocks like shales with sandstones and shales. The presence of impermeable rocks does not always cause landslide movements. In some parts of the Carpathian, landslides occur on the slopes build from complex of sandstones. Such is the case in the western part of the Magura Nappe in the Beskid Żywiecki. Landslides that occur in this area are conditioned mainly by the Magura sandstones.

In addition to the rock lithology, tectonics is another important factor that causes landslides. Geological contact zones are also particularly predisposed to the development of landslide movements. Tectonics and lithology, and particularly the differences in the resistance of the rocks, largely determine the style of relief. This regularity applies to the whole area of the study area. Landslides in the Carpathians most often occur on the 9–14° degrees slopes and 15–25° degrees slopes and on the convex or concave slopes. Shallow landslides and mud flows have developed on the steeper slopes, often above 25 degrees in zones between the plateau and a steep slope of the valley. Nowadays the development of many forms of landslide is related to river erosion.

The above-mentioned conditions for the development of landslides were taken into account and a landslides susceptibility map for the Polish Carpathians was developed. This is the first map of this type and it shows the locations of areas susceptible to landslides across the whole area of the Polish Carpathians. Received results, confirm the argument that landslide belongs to most dangerous natural hazards in this region. Over 7 thousand square

kilometers are occupied by the slopes which are high or very high landslide susceptibility. It makes 36% of whole Polish Carpathians area. Slopes where landslide risk is the biggest where built from flysch complex of rocks like sandstones, shales with sandstones and shales, depends on region. According to this map we can choose part of the mountains most susceptible on landslide activity. Those regions are grouped especially in the west and middle part of the Carpathians Mts. Given the scale of the development the map shows only the areas that may potentially be affected by the landslide movements.

Landslide susceptibility maps made in a larger scale, using quantitative methods, and based on a detailed map of landslides gives much better results. This was proved by the research within the four selected areas of Carpathians. This map based on quantitatively defined weight-values and the method is called the „landslide index method” (Van Westen et. al. 1997). A weight – value for a parameter class, such as a certain lithological unit or a certain slope class, is defined as the natural logarithm of the landslide density in the class divided by the landslide density, in the entire map. The final maps represent the areas where the possibility of a potential landslide movement is the greatest.

Given the growing threat for living conditions and economic activities, it is particularly important to develop accurate maps of landslides and areas susceptible to landslides. This will allow to better plan building areas.

Maps of this type should be a regular part of local development plans in Carpathian towns and villages. When developing landslide susceptibility maps it is important to remember that the methods used to produce those maps should always include type of forms, their diversity in the Carpathians, varied relief, complex geology and tectonics of this vast Mountain area.

Translated by: Michał Długosz

Duża liczba osuwisk w Karpatach polskich i związane z nimi straty materialne wynikające ze zniszczenia mienia oraz likwidacji skutków ruchów osuwiskowych prowadzą do szukania tańszych rozwiązań w celu zapobiegania tego typu procesom. Jedną z metod, która może w sposób skuteczny i tani ograniczyć niekorzystne skutki ruchów osuwiskowych jest opracowanie map podatności na osuwanie. Jest to rodzaj prewencji i minimalizacji strat związanych z niekorzystną lokalizacją zabudowy na stokach. Wyznaczenie terenów zagrożonych przez potencjalne ruchy masowe, zmniejszy straty w przyszłości nie dopuszczając do inwestowania i budowy domów mieszkalnych na tych terenach.

Mapy podatności na osuwanie w Polsce wciąż należą do rzadkości. Pomimo dużych strat materialnych będących efektem rozwoju osuwisk w Karpatach problem ten wydaje się być lekceważony. Tak było przez ostatnie dziesięciolecie. Dopiero ostatnie lata, w których notowano wysokie sumy opadów, powódzie i związane z nimi ruchy osuwiskowe doprowadziły do zainteresowania tym problemem.

Praca ta przedstawia wyniki badań nad opracowaniem map podatności na osuwanie dla obszaru polskich Karpatach fliszowych. Mapy w zależności od skali, sporządzono w oparciu o zróżnicowane metody badawcze oraz wybrane czynniki pasywne (predykatory). Otrzymane wyniki pozwalają wnioskować o możliwościach wykorzystania zastosowanych metod w warunkach karpaccich oraz umożliwiają wskazanie najważniejszych predyktorów mających wpływ na powstawanie osuwisk w poszczególnych częściach Karpat.