

PRACE GEOGRAFICZNE, zeszyt 105

Instytut Geografii UJ
Kraków 2000

„Krajobraz zmiennym jest a nie martwym
jak nam się wydaje na pierwszy rzut oka”

L. Sawicki

Krystyna German

FUNKCJONOWANIE GEOSYSTEMÓW FLISZOWYCH W OKOLICACH ŻEGOCINY W EKSTREMALNYCH WARUNKACH OPADOWO-POWODZIOWYCH 9 LIPCA 1997 ROKU

Zarys treści: W artykule przedstawiono szczególny sposób funkcjonowania geosystemów fliszowych pod wpływem gwałtownych opadów i największej w bieżącym stuleciu powodzi w okolicach Żegociny, ze szczególnym uwzględnieniem zlewni Sanki, położonej na pograniczu Beskidu Wyspowego i Pogórza Wielickiego. Analizę przeprowadzono w nawiązaniu do bardzo złożonej, przestrzennej struktury środowiska wynikającej z międzyregionalnego usytuowania zlewni. Wyróżniono i scharakteryzowano 4 fazy funkcjonowania geosystemów, różniące się pod względem czynników, procesów i ich skutków w krajobrazie względnie naturalnym, beskidzkim i silnie zantropogenizowanym, pogórskim. Skala i rozmiary zmian, jakie zaszły w środowisku przyrodniczym, wskazują na jego niezwykle gwałtowny, skokowy rozwój.

Słowa kluczowe: Karpaty fliszowe, opady, powódź, geosystem, funkcjonowanie, przemiany.

1. Wprowadzenie

Pod pojęciem funkcjonowania środowiska przyrodniczego rozumie się prawidłowe zmiany jego stanu, zarówno cykliczne, jak i ewolucyjne (Richling 1992). Polega ono na wymianie materii, energii i informacji między składowymi geosystemu, którymi mogą być komponenty, elementy środowiska lub geokompleksy. Funkcjonowanie jest więc procesem dynamicznym, przebiegającym w czasie. Badania mechanizmów funkcjonowania środowiska przyrodniczego zazwyczaj mają charakter stacjonarny i prowadzone są w długim okresie czasowym, na wybranych polach pomiarowych. Zmiany wynikłe z funkcjonowania środowiska w warunkach normalnych zauważane są w krajobrazie dopiero po długim okresie badań.

W sytuacji gwałtownego i intensywnego zadziałania czynników, sposób funkcjonowania staje się bardzo gwałtowny, a skutki w krajobrazie niezwykle czytelne, pozwalające na analizę następujących po sobie zdarzeń. Takie ekstremalne warunki miały miejsce m.in. w strefie progowej Beskidu Wyspowego, w geosystemie Sanki i potoku Rozdziele na terenie gminy Żegociny.

Celem pracy jest ukazanie mechanizmów funkcjonowania geosystemów Sanki i potoku Rozdziele pod wpływem bardzo gwałtownych opadów o dużym natężeniu i powodzi w dniu 9 lipca 1997 roku oraz zmian w ich krajobrazie, spowodowanych niespotykaną w tym stuleciu dynamiką procesów naturalnych.

Obszar objęty zjawiskami ekstremalnymi był przedmiotem wcześniejszych badań fizycznogeograficznych autorki nad strukturą i organizacją środowiska przyrodniczego (German 1984, 1992). Po gwałtownej zmianie krajobrazu 9 lipca 1997 roku, szczególnie dobrze widocznej w dnach i na zboczach dolin, przeprowadzono na terenie zlewni szczegółowe kartowanie skutków opadów i powodzi. Wykonano inwentaryzację powierzchniową i liczbową zmian, jakie nastąpiły na terenie trzech blisko siebie położonych płaszczowin Karpat fliszowych w budowie geologicznej powierzchni, rzeźbie, glebach, sieci wód powierzchniowych i roślinności. Dokumentacja zmian w geosystemie musiała być przeprowadzona w krótkim okresie po powodzi, ponieważ już następnego dnia rozpoczęło się porządkowanie terenu i likwidacja niektórych nowopowstałych form przez mieszkańców. Inwentaryzacja zmian była możliwa w 1997 roku dzięki pomocy moich magistrantów: T. Dworzaka, S. Koczoń, M. Laskowskiej, a szczególnie K. Górskiego i P. Wasylewicza, którym składam wyrazy podziękowania. Wdzięczna jestem Sekretarzowi Gminy, mgr. Z. Nożkiewiczowi za udostępnienie szacunku strat i innych danych o powodzi, Mieszkańcom gminy Żegocina za wnikliwy opis przebiegu zjawisk na różnych odcinkach zlewni, a PP. A. Pławeckiemu, M. Filipek i M. Szewczyk za prezentację zmian w terenie. Dziękuję IMiGW – Oddział w Krakowie za udostępnienie danych opadowych ze stacji Rozdziele Górne. Panu T. Olszewskiemu dziękuję za udostępnienie dokumentacji fotograficznej, wykonanej podczas opadania fali kulminacyjnej jeszcze tego samego dnia i skutków w dniu następnym, kiedy Żegocina była niedostępna komunikacyjnie. Dzięki tym informacjom i materiałom możliwe było uzupełnienie badań terenowych danymi na temat wysokości fali kulminacyjnej oraz uchwycenie przebiegu zjawiska w różnych częściach zlewni i w różnych etapach czasowych.

2. Cechy środowiska przyrodniczego geosystemów decydujące o sposobie ich funkcjonowania

Opracowanie dotyczy geosystemów Sanki i górnej części potoku Rozdziele, położonych na pograniczu dwóch mezoregionów: Beskidu Wyspowego i Pogórza Wielickiego (ryc. 1). Geosystem Sanki składa się z trzech części wyraźnie różniących się pod względem cech środowiska i sposobu funkcjonowania: źródłowej beskidzkiej, typu wzniesień ostańcowych; środkowej, należącej do typu środowiska pogórzy niskich i dolnej, typu pogórzy średnich (ryc. 1). Geosystem potoku Rozdziele w swej górnej części położony jest w typie środowiska wzniesień ostańcowych i pogórzy wysokich, wnikających w Beskid Wyspowy (German 1984, 1992).

2.1. Geosystem Sanki

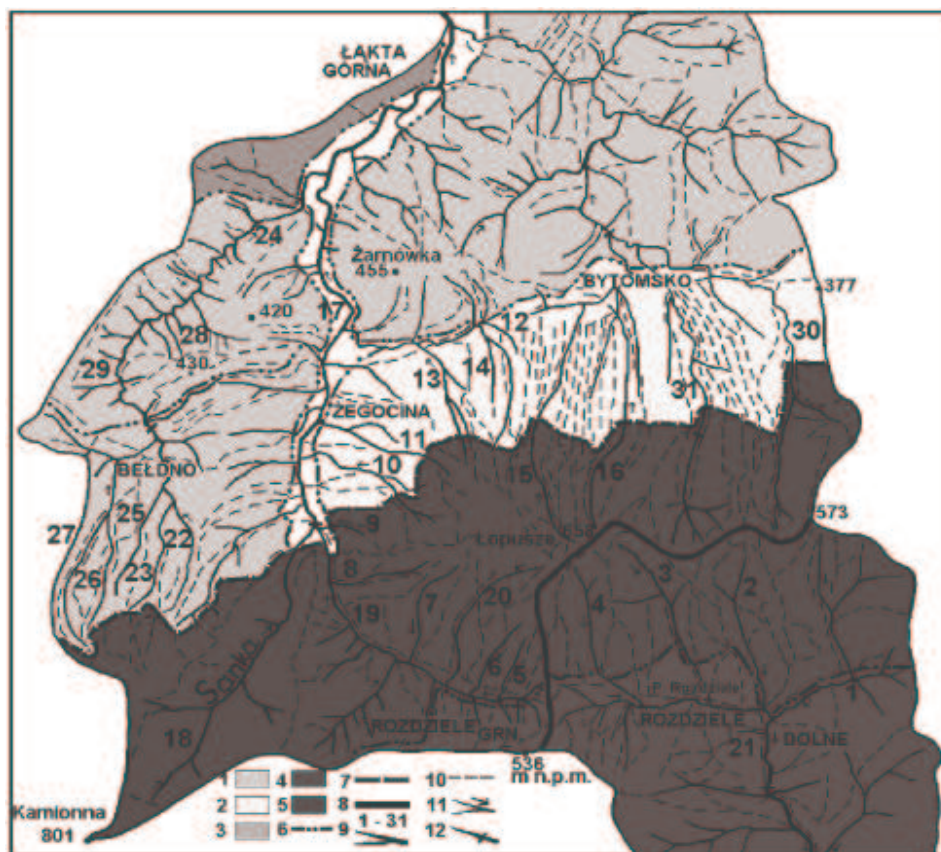
Część beskidzka obejmuje północne stoki Kamionnej – 801 m n.p.m. i zachodnią część masywu Łopuszy – 658 m n.p.m. rozdzielone wysoką przełęczą

Widoma. Deniwelacje wynoszą tu 436 m. Zbudowana jest w całości z odpornego fliszu płaszczowiny magurskiej i nieco mniej odpornego – płaszczowiny podmagurskiej. Charakterystyczne formy w tej części to wąskie, spłaszczone wierzchowiny i długie, strome stoki głęboko nacięte jeszcze bardziej stromymi dolinami wciosowymi i debrzami. Wypukłe stoki o nachyleniach 10-15° i 15-20° zajmują 62% powierzchni, stoki nachylone 20-35° – 19% powierzchni regionu. Odwadniane są przez Sankę o długości 2,7 km, płynącą obsekwentnie, wypływającą na wys. 675 m, osiągającą w swoim beskidzkim biegu spadek 115‰, i przez nieznacznie krótszy od Sanki dopływ z Rozdziela Górnego o spadku 47‰, zbierający jednak wody potoków o dużym spadku (dolina 20-108‰), spływające subsekwentnie głębokimi, często asymetrycznymi dolinami wciosowymi z zachodniej części Łopuszy i wschodniej Kamionnej. Te dwa, podobnej długości ciek łączą się ze sobą u wylotu z Beskidu, w pobliżu centrum Żegociny, na wysokości 365 m n.p.m., tworząc koncentryczny układ. Wachlarzowaty kształt wododziału, gęste rozcięcie dolinami i koncentryczny układ sieci rzecznej źródłowego odcinka Sanki o bardzo dużym spadku decydują o bardzo dużej energii wody i jej szybkim, jednoczesnym spływie do centrum Żegociny. Kolejne podsystemy Sanki, biorące początek w beskidzkiej części, stanowi 7 cieków obsekwentnie nacinających północne stoki Kamionnej i Łopuszy, a uchodzących do Sanki znacznie dalej na północ, na terenie wsi Łąka Górna. Odcinki na terenie Łopuszy i Kamionnej w strefie progu Beskidu Wyspowego cechuje bardzo duży spadek. Przykładowo dolina 16 na odcinku beskidzkim osiąga 200‰ spadku (ryc. 1).

Na stokach przeważają pokrywy gliniaste lub gliniasto-szkieletowe o małej przepuszczalności, porośnięte lasem bukowo-jodłowym. Stopień przekształcenia środowiska przez człowieka jest niewielki. Beskidzka część charakteryzuje się więc dużą energią potencjalną i ma wybitnie deportacyjny charakter.

Część pogórska – pogórza niskie, sąsiadująca od południa z beskidzkimi wzniesieniami ostańcowymi a od północy z pogórzem średnim (garb Żarnówki), obejmuje wydłużone w kierunku Bytomska Obniżenie Żegocińskie, o niewielkich deniwelacjach rzędu 80 m, zbudowane z łupkowo-marglistych serii płaszczowiny podśląskiej, słabo odpornych, mocno sfałdowanych u progu Beskidu, tworzących okno tektoniczne Żegociny. Przeważają w rzeźbie długie, wklęsłe, łagodne stoki o nachyleniach 3-6° i 6-10°, zajmujące 67,5% powierzchni, płytko rozcięte dolnymi odcinkami dolin beskidzkich, przybierającymi tu charakter płytkich, wciętych zaledwie 2-3 m wciosów. Liczne tu są wądoły, dolinki nieckowate i płaskodenne. Pylasto-ilaste pokrywy są bardzo słabo przepuszczalne, a cały niemal obszar jest bezleśny i użytkowany rolniczo, z dużym udziałem zabudowy (Żegocina, Bytomsko, Bełdno) i w związku z tym bardzo silnie przekształcony antropogenicznie. Na tym odcinku Sanka, niemal w całości ujęta w żłób betonowy i uregulowana, osiąga zaledwie 21‰ spadku, a dopływ 16 z Łopuszy (ryc. 1) – 67‰. W normalnych warunkach obszar tego pogórza funkcjonuje jako lokalna baza akumulacyjna dla znacznej części materiału wynoszonego z części beskidzkiej.

Część pogórska – pogórza średnie obejmuje garb Żarnówki (457 m n.p.m.), położony na wschód od Sanki i wzgórze w osi Żarnówki, położone na zachód od Sanki. Deniwelacje osiągają tu 157 m. Wzniesienia spłaszczone w wysokości poziomu



Ryc. 1. Mapa dokumentacyjna obszaru badań.

Typy środowiska (1-5): 1 – den dolin, 2 – pogórzy niskich, 3 – pogórzy średnich, 4 – beskidzkich pogórzy wysokich, 5 – wzniesień ostańcowych (K. German 1992), 6 – granica typów środowiska, 7 – granica mezoregionów Beskidu Wyspowego i Pogórza Wielickiego, 8 – granica geosystemów Sanka i potoku Rozdziele, 9 – zbadane doliny 1-31 (tab.1), nr 28: prawe dolinki potoku z Bełdna, nr 29: lewe dolinki potoku z Bełdna, 10 – drogi pełniące funkcję korytarzy dla płynącej wody, 11 – kierunki spływu wód, 12 – granice badanych odcinków potoków

Fig. 1. Map documentation of the investigation area.

Types of the environment (1-5): 1 – valley bottoms, 2 – low foothills, 3 – medium foothills, 4 – Beskid high foothills, 5 – monadnock heights (K. German 1992), 6 – boundaries of types of the environment, 7 – boundaries of mesoregions of Beskid Wyspowy and Pogórze Wielickie, 8 – boundaries of the geosystems of Sanka and Rozdziele rivers, 9 – investigated valleys 1-31 (tab. 1), No. 28: right lateral valleys of the Bełdno River valley, No. 29: left lateral valleys of the Bełdno River valley, 10 – roads functioning as the corridors for flowing water, 11 – directions of the water flow, 12 – boundaries of the investigated sections of streams

pogórskiego opadają dość stromymi stokami o nachyleniach 6-10° i 10-15°, rozciętymi gęstą siecią krótkich dolinek wciosowych, debrzy, wądołów o stromych zboczach. Ta urozmaicona rzeźba wykształciła się na dość odpornych warstwach lgockich, godulskich i istebniańskich płaszczowiny śląskiej, okrytych gliniasto-pylastą pokrywą. Charakterystyczne jest mozaikowe użytkowanie tego typu pogórza, w którym w zależności od konfiguracji terenu przeplatają się użytki rolne z łąkowymi, z zabudową i lasami grądowymi oraz na stromych stokach z borami sosnowymi. Obszar cechuje umiarkowana denudacja, a krótkie cieki średnia energia.

Tak więc zasadnicze zróżnicowanie środowiska przyrodniczego i intensywność jego przekształcenia przez człowieka uwarunkowane są morfostrukturalnie. Geosystem Sanki, prostopadły do struktur, pozwala na analizę związków między warunkami naturalnymi a sposobem funkcjonowania na różnych odcinkach geosystemu oraz na analizę funkcjonowania w warunkach ekstremalnych środowiska względnie naturalnego i silnie zmienionego przez człowieka.

2.2. Geosystem potoku Rozdziele

Geosystem potoku Rozdziele, położony w całości w części beskidzkiej, w swej górnej części na terenie wsi Rozdziele Górne obejmuje południowe stoki góry Łopuszy, o cechach środowiska przyrodniczego podobnych do geosystemu górnej Sanki. W dolnej jednak części przecina odcinek pogórzy wysokich, które wnikają w Beskid niższym stopniem, okalającym wzniesienia ostańcowe. Cechują się one rozległymi spłaszczeniami wierzchowinowymi otulonymi grubymi nawet do 5 m pylasto-gliniastymi pokrywami czwartorzędowymi. Dominują w tej części krótsze stoki, średnio strome, nachylone 10-15° i strome – 15-20°, zajmujące 60% powierzchni tego typu środowiska, rozcięte licznymi, niedużymi i niezbyt głębokimi wciosami i debrzami, które poniżej przechodzą w rozległą płaskodeną dolinę potoku Rozdziele. Za cechę charakterystyczną w tym typie środowiska podczas badań nad jego strukturą uznano dostawę materii z wyżej położonych wzniesień ostańcowych, częściowe wynoszenie i częściową jej akumulację w płaskodennej, szerokiej dolinie potoku Rozdziele.

3. Czynniki funkcjonowania geosystemów

Na sposób funkcjonowania geosystemu w dniu 9 lipca 1998 roku złożyły się przede wszystkim czynniki naturalne, ale także bardzo istotną rolę odegrały czynniki antropogeniczne.

3.1. Naturalne czynniki funkcjonowania

1. Sytuacja synoptyczna

Pierwszym czynnikiem, który zainicjował działanie dalszych, był niż, stagnujący nad południową Polską przez 6 dni, z dużym kontrastem termicznym, między chłodnym, wilgotnym powietrzem napływającym po stronie zachodniej z kierunku północnego i ciepłym po stronie wschodniej, napływającym z południa i południowego

wschodu, który stopniowo zaczął się przesuwać nad Karpatami na wschód, powodując intensywne opady (Niedźwiedź, Czekierda 1998). Jak wynika z przeprowadzonych wywiadów, opady te były groźniejsze w skutkach niż powódź w 1934 roku.

2. Opady

Wg T. Niedźwiedzia i D. Czekierdy (1998), w sytuacji odsuwania się niżu na wschód, w dniu 9 lipca 1998 roku w dorzeczu Łososiny i Uszwicy w godzinach popołudniowych i wieczornych utworzyła się duża komórka konwekcyjna ze zwartą masą wysoko wypiętrzonych chmur *cumulonimbus*, co doprowadziło do gwałtownych opadów ulewnych o bardzo dużym natężeniu (rzędu 150 mm w ciągu 2 godzin). Opady wraz z gwałtowną burzą objęły także zlewnię Sanki, która należy do dorzecza Raby i być może zintensyfikowała je dodatkowo 400-metrowa bariera orograficzna Beskidu Wyspowego, przecinająca w poprzek zlewnię. Dla funkcjonowania geosystemów istotna była intensywność i suma opadów.

3. Długi, ponad dwudziestopięcioletni okres niedoboru opadów i braku większych powodzi, poprzedzający zdarzenie, stworzył dogodne warunki do nagromadzenia zwietrzliny w osiach dolin i przygotowania luźnego materiału do transportu. W osie dolin wkroczyły siewki drzew i osiągnęły postać drzewiastą, co wpłynęło zasadniczo na przebieg funkcjonowania tych dolin w dniu 9 lipca. Położenie geosystemu w strefie granicznej czterech płaszczowin Karpat Zewnętrznych jest być może dodatkową przyczyną większego spękania i rozluźnienia podłoża skalnego.

4. Duża energia potencjalna rzeźby beskidzkiej części geosystemu. Uwarunkowana jest strukturą i wyraża się dużymi nachyleniami stoków oraz ich dużą fragmentacją przez liczne doliny wciosowe. Pełnią one rolę korytarzy, odbierających wodę spływającą po stokach i organizują ją do spływu liniowego, zorganizowanego.

5. Wachlarzowaty układ cieków w górnej części zlewni Sanki, warunkujący koncentryczny spływ wód.

6. Nasiąkliwe i nieprzepuszczalne lub słabo przepuszczalne ilaste, pylaste i gliniaste pokrywy okrywające stoki wysyczone opadami rozlewnymi dni poprzednich, a szczególnie w dniu 7 i 8 lipca.

7. Duża masa wody spływającej równocześnie w kierunku centrum Żegociny, gdzie fala kulminacyjna wzniosła się 4-5 m nad dno cieku. W bocznej dolinie wciosowej (nr 20, ryc. 1), według kilku relacji mieszkańców i dokonanych pomiarów, fala kulminacyjna osiągnęła 4 m.

8. Bardzo duża energia płynącej wody uwarunkowana sumą i natężeniem opadu, masą wody i energią rzeźby.

9. Energia związana z niezwykle gwałtownymi i licznymi wyładowaniami elektrycznymi, generująca fale akustyczne, mogła przyczynić się do powstania ruchów masowych, poprzez zadziałanie na przeciążone wodą pokrywy, pozostające w granicznej równowadze. Zjawisko to jako jeden z czynników sprawczych osuwania w terenie górskim jest słabo rozpoznane, lecz w tym przypadku bardzo prawdopodobne, ponieważ większość form powstała podczas szalejącej z niezwykłą siłą burzy.

10. Przekroczenie pojemności wodnej gleb, zwietrzelin i szaty roślinnej na stokach Kamionnej i Łopuszy w dniu 8 lipca, o czym świadczyło wystąpienie cieków

z koryt oraz gwałtowny przebieg opadów w dniu 9 lipca złożyły się na brak możliwości ograniczenia spływu przez las w dniu powodzi.

Czynniki te spowodowały przekroczenie granic stabilności geosystemów, uwolniona została energia potencjalna środowiska i rozpoczęły się gwałtowne jego przemiany, związane z dostosowywaniem się do zaistniałej, nowej sytuacji.

3.2. Antropogeniczne czynniki funkcjonowania

Na przebieg powodzi i olbrzymie straty powstałe w infrastrukturze zlewni duży wpływ wywarł sposób zagospodarowania doliny przez człowieka. Do czynników antropogenicznych, które odegrały istotną rolę w przebiegu powodzi i stworzyły dodatkowe zagrożenia, należą:

1. Nadmierne zwężenie koryt cieków przez betonową obudowę.
2. Płytko osadzona w podłożu betonowa obudowa dróg biegnących równoległe do cieków.
3. Zbyt niskie usytuowanie licznych mostów i kładek, m.in. bezpośrednio na żłobie betonowym oraz zbyt wąskie usytuowanie przyczółków.
4. Wąskie przepusty drogowe dla cieków, o niewielkiej średnicy, obliczone na przeciętny przepływ.
5. Płytkie wkopanie pod koryta poprzecznych rurociągów, w tym gazociągów.
6. Usytuowanie rurociągów zbyt nisko nad korytem.
7. Zgromadzenie w dnach dolin i w korytach, szczególnie w małych bocznych dolinach, dużej kubatury śmieci.
8. Nadsypanie w centrum Żegociny terasy zalewowej do poziomu terasy nadzalewowej w celu wygospodarowania dodatkowej, wolnej przestrzeni na inne cele niż ewentualne płynięcie wód powodziowych.
9. Zbyt niskie usytuowanie nad ciekami wysypiska śmieci i oczyszczalni ścieków w Łącku Górnej.
10. Wkroczenie z zabudową do okresowo zalewanego dna doliny, w najbliższe otoczenie koryt.

4. Przebieg funkcjonowania geosystemów

W funkcjonowaniu geosystemów w warunkach ekstremalnych można wyróżnić 4 fazy, różniące się od siebie czynnikami, przebiegiem procesów oraz ich skutkami.

Faza I. Opady rozlewne

Do zjawisk poprzedzających, a znacząco kształtujących funkcjonowanie geosystemu w dniu 9 lipca, zaliczyć należy przebieg opadów rozlewnych uwarunkowany stacjonarnym niżem nad zachodnim skrajem Karpat Zachodnich w dniu 4 lipca, z wolną przemieszczającym się następnie w kierunku wschodnim (Niedźwiedź, Czekerda 1998). Według danych uzyskanych w IMiGW, Oddział w Krakowie, na stacji opadowej w Rozdziele Górnym, położonej na wododziale Sanki, w dniu 4 VII

opad wyniósł 2,3 mm, a w następujących dniach sumy opadu rozlewnego osiągały coraz wyższe wartości: 5 VII – 12,9 mm; 6 VII – 17,1 mm; 7 VII – 44,2 mm; 8 VII – 45,1 mm. W ciągu tych dwóch ostatnich dni opady spowodowały nasycenie pokryw zwietrzelinowych i wypełnienie zbiorników I poziomu wód gruntowych. Porastające Kamionną i Łopuszę lasy także wyczerpały swoją pojemność wodną. Świadczył o tym przybór wody w Sance, która wieczorem w dniu 8 lipca wypełniła łożysko i zaczęła rozlewać się w dolinie. Równocześnie na stokach wystąpiły pierwsze procesy spływu powierzchniowego wody z drobnofrakcyjnym materiałem.

Faza II. Gwałtowny opad typu burzowego

W sytuacji wezbraniowej, w dniu 9 lipca około godz. 17 rozpoczęły się opady, a następnie nadciągnęła gwałtowna burza z niezwykle intensywnym opadem, który objął swym zasięgiem górną i środkową część zlewni. Na stacji opadowej w Rozdzielu Górnym zanotowano tego dnia 122 mm deszczu. Opad ten, w postaci strug wody lejącej się z niezwykle ciemnych chmur (Gądek 1997), w sytuacji wcześniejszego nasycenia pokryw wodą, w całości spłynął po powierzchni zlewni, zmierzając koncentrycznie do den dolin, osi dróg, nawet nieznacznie pochylonych, i innych zagłębień terenu. Wg relacji T. Olszewskiego (1997), wszystkie fosy i rowy bardzo szybko zapełniły się brunatną cieczą, która w błyskawicznym tempie spływała na tereny niżej położone.

Tuż poniżej wierzchowin, w odległości 20-30 m poniżej spłaszczeń, w płytkich nieckach i w niszach źródłowych, stwierdzono głęboki zmyw powierzchniowy. Duże rozmiary przybrał on w lesie bukowym (dolina 20, ryc. 1), w którym o tej porze roku roślinność runa kończy wegetację i zamiera, a przechodząc w formy przetrwalnikowe, nie chroni podłoża przed splukiwaniem. Zmywowi powierzchniowemu uległy pozostałości roślinności zielnej, gałęzie, ściółka i warstwa próchniczna oraz kilkunastocentymetrowa warstwa gleby na powierzchniach rzędu kilkuset m². W ten sposób odsłonięte zostało wygładzone podłoże gliniaste. W lesie jodłowo-bukowym, o gęstym runie leśnym, widocznych śladów zmywu powierzchniowego nie stwierdzono. Wynika więc, że w warunkach bardzo intensywnych i gwałtownych opadów splukiwanie osiąga znaczne rozmiary nie tylko na terenach rolniczych, ale także w lasach, i zależy od typu lasu i zawartości runa leśnego.

Woda spływająca w sposób rozproszony z wierzchowin i górnych części stoków wykorzystwała wszystkie drogi (ryc. 1), które – chociaż w niewielkim stopniu, rzędu 3-4° – były nachylone i rozpoczynała niemal od góry pracę erozyjną, żłobiąc w koleinach wąskie rowki o głębokości do kilkudziesięciu cm, wycinając kociołki eworsyjne pod korzeniami, i większymi okruchami skał, erodując na boki na drogach nieutwardzonych, lub erodując fosy, pobocza i wycinając wyrwy w asfalcie na drogach utwardzonych. Wody te wyniosły ze stoków, nie tylko użytkowanych rolniczo, bardzo dużą, choć trudną do oszacowania masę gleby. W obrębie sterasowanych stoków użytkowanych rolniczo, na powierzchni pól przeplatających się z użytkami zielonymi, nie zaobserwowano wyraźnych żłobin erozyjnych, co wskazuje na rozproszony spływ wody w tych obszarach. Za to na stopniach teras śródpolnych utworzyły się liczne zerwy lub małe osuwiska. Jeszcze w dwa miesiące po powodzi obserwowano często

w nowopowstałych formach wycieki wody świadczące o drenującej roli teras rolnych na stokach. Wody przeciążone zawiesiną, spływając po stromych stokach górnej części zlewni, uzyskiwały coraz większą energię i wykonywały coraz większą pracę. Wraz ze wzrostem ich energii, po osiągnięciu źródłowych odcinków dolin o dużym spadku, wzrastała masa transportowanego przez wody materiału. Energia wody dopływającej do górnych odcinków dolin była tak duża, że na skutek erozji wgłębnej rozcięte zostały żłobinami dochodzącymi do 1 m głębokości z licznymi kociołkami eworsyjnymi zarówno górne odcinki lejów źródłowych, jak i niecek położonych tuż poniżej wierzchowin. Leje źródłowe powiększone zostały przez powstające na zboczach osuwiska i procesy erozji wstecznej.

Faza III. Przybór wód w ciekach do osiągnięcia fali kulminacyjnej

Faza ta była przesunięta w czasie o około 20 minut w stosunku do początku intensywnych opadów fazy II. Wzbieranie cieków miało charakter bardzo gwałtowny, aczkolwiek krótkotrwały, szacowany na około 1 godzinę. Cieki w początkowym okresie wezbrania niosły jeszcze niewiele materiału, głównie lekkiego, unoszonego na powierzchni wody, w postaci liści, ściółki leśnej, gałęzi, śmieci składowanych przez mieszkańców w dnach dolin, a także duże ilości gleby i drobnej zwietrzliny. Toteż cała ich energia, która szybko wzrastała, skierowana została na wyprzątanie materiału luźnego z koryt oraz nacinanie i pogłębianie łożysk. Koryta Sanki i jej dopływów na całej długości wcięły się w skały podłoża, które odsłaniają się po powodzi w dnie i na zboczach aż do Łątki Dolnej. Potok Rozdziele rozciął pokrywę akumulacyjną wypełniającą rozległe, płaskie dno doliny na terenie pogórza wysokiego i także wciął się w skalne dno. Przeciętne wcięcie cieków kształtuje się od 1 do 2 m, maksymalnie stwierdzono 3 m. Wzdłuż doliny Sanki odsłonił się bardzo czytelny, pełny profil geologiczny ilustrujący litologię obszaru i bardzo złożoną jego tektonikę w zasięgu czterech płaszczowin Karpat Zewnętrznych, który przed powodzią był widoczny jedynie w niewielu fragmentach.

Wzbierające cieki cechuje w profilu poprzecznym ruch wody skierowany ku zboczom, inicjujący podcinanie zboczy i powodujący zachwianie ich równowagi. Proces ten zaowocował osuwaniem się dużej masy, głównie zwietrzelinowej wraz z drzewostanem ze zboczy do wody, zwiększała się tym samym masa transportowanego materiału, która intensyfikowała procesy erozji wgłębnej, bocznej i wstecznej. Wg M.Książkiewicza (1968) spadek cieków zwiększa się w czasie powodzi, gdyż w górnym odcinku poziom wody w rzece podnosi się znacznie silniej niż w dolnym. Zjawisko takie wystąpiło z pewnością w analizowanym geosystemie, gdyż w części wododziałowej opad był bardzo intensywny. Tak więc prędkość wody zwiększała się wraz ze zwiększającym się spadkiem i ze wzrostem ilości wody w ciekach. Od prędkości wody uzależniony był z kolei transport, jego frakcja i masa. Powstałe w tej fazie osuwiska zboczowe cechują się obecnością nisz i brakiem jęzorów, z których materiał został natychmiast wyprzątnięty i przetransportowany w dół doliny na znaczne odległości (fot.1). W fazie tej ze wszystkich dolin V-kształtnych wyprzątnięty został grubofrakcyjny materiał zwietrzelinowy nagromadzony w wieloletnim okresie bez znacniejszych powodzi. Na skutek zatkania pod drogą przepustów potoków

spływających z Łopuszy doszło do wsypania na szosę biegnącą do Limanowej potężnych stożków napływowych, wysokich 2-3 m, które spowodowały odcięcie komunikacyjne Żegociny od południa.

Mało odporne serie łupkowe płaszczowiny podśląskiej i śląskiej sprzyjały znacznej erozji bocznej w korytach, przez co ukształtowała się większa krętość biegu cieków. Duże rozmiary przybrała erozja w łupkach płaszczowiny magurskiej, gdzie powstał schodowy profil dolin obsekwentnych, bardzo pięknie wykształcony szczególnie w dolinie Sanki. Na grubych ławicach twardych piaskowców powstały progi o wysokości do 2 m, a występujące poniżej kotły eworsyjne osiągnęły do 1 m głębokości, tworząc malowniczy podłużny profil schodowy doliny, który wcześniej był maskowany przez zalegający w dnie rumosz skalny. Znacznie silniejsza erozja wgłębna w osi głównej doliny, a także podparcie dolin bocznych przez wysoki poziom wody, spowodowały zawieszenie dna dolin bocznych nad doliną główną. W dolinach subsekwentnych, gdzie na długich odcinkach ciek ześlizguje się po grubych seriach piaskowcowych, doszło do znacznego wyerodowania serii łupkowych i pogłębienia asymetrii dolin tego typu. Szczególnie duże rozmiary osiągnęła erozja boczna na zewnętrznych łukach zakoli doliny, gdzie główny nurt o większej szybkości bezpośrednio uderzał w zbocza lub biegnącą obok koryta drogę. Na tych odcinkach w Łącku Górnej zniszczona została przez falę kulminacyjną betonowa obudowa szosy oraz sama droga, a wielotonowe bloki zostały rozrzucone przez wodę w korycie.

Wraz z materiałem zwietrzelinowym osunęły się także ze zboczy liczne duże drzewa z korzeniami, z których część uniosła woda, a część zatarasowała bieg koryt, inicjując powstanie w korycie barier. Wiele drzew z osuwających się zboczy w wąskich dolinach V-kształtnych przewróciło się i oparło o przeciwległe zbocze tworząc liczne pomosty ponad dnem dolin. Z obliczeń wykonanych po powodzi, w których sumowano napotkane w czasie badań terenowych, wyrwane z podłoża drzewa, wynika, że na skutek erozji i osuwania w samych dolinach i ich najbliższym otoczeniu zniszczeniu uległo 1489 drzew i dwa duże pakiety lasu (tab. 1). Jest to wartość niepełna, ponieważ nie znana jest pełna liczba drzew osuniętych na stokach, wyniesionych z dolin, niekiedy poza badany obszar, i tych, które zatarasowały drogi i w pierwszej kolejności zostały uprzątnięte. Znaczna część drzew jeszcze stojących na zboczach ma odsłonięty system korzeniowy, co nie rokuje pomyślnie dla ich dalszej vegetacji (fot. 2).

Duże drzewa rosnące w dnie dolin wciosowych, które nie uległy zniszczeniu, lub te, które osuwając się, zakotwiczyły się w rumoszu, spełniły w tej fazie powodzi rolę barier, na których osadzały się płynące z nurtem drzewa, drewno, gałęzie, okruchy toczonych skał oraz śmieci, tworząc bardzo splątany i mocno utwardzony monolit o wysokościach 2-3 m i kilkumetrowych długościach. Takie bariery były omijane przez nurt i powodowały wycinanie dużych nisz w zboczach. Tego typu bariery, inicjujące powstanie nowych form, napotkać można było we wszystkich dolinach badanego obszaru (fot. 3). W odcinku pogórskim, na terenie Łącku Górnej, gdzie dno doliny jest szerokie, sterasowane i porośnięte w pobliżu ciekulem lasem typu olsu, płynąca woda uformowała podłużne bariery na granicy łożyska rzeki i lasu, odkładając na jeszcze stojących pniach drzew i krzewach niesiony z nurtem materiał. Te podłużne formy akumulacji są odpowiednikiem naturalnych wałów powodziowych (levee), w tym

wypadku odznaczających się znacznym udziałem transportowanych drzew, drewna i śmieci. Bariery te spełniły ważną rolę ochronną dla rosnącego poza nimi lasu, chociaż brzeżne części zbiorowiska zostały zniszczone. Na odcinku tym, który znakomicie obronił się przed zniszczeniami, znalazła potwierdzenie teza Formana (1995), który pisząc o niezbędnych układach w krajobrazie stwierdził, że największy priorytet w ochronie powinny mieć duże płaty roślinności naturalnej w postaci szerokich, porośniętych korytarzy chroniących bieg cieków. Transportowany ciekami materiał skalny spowodował także całkowite lub częściowe okorowanie odsłanianych systemów korzeniowych i zalanych pni drzew, trwałe pochylenie lub wygięcie wielu drzew rosnących w dnach dolin.

Wzbierające wody cieków spowodowały zniszczenie i wyniesienie z dolin roślinnych zbiorowisk hydrofilnych, a także wielu organizmów zwierzęcych żyjących zarówno w wodzie, jak i w dnach dolin. Po powodzi nastąpiła więc bardzo duża oligotrofizacja środowiska dolin. Problem ten, mimo znacznie niższych stanów wody na Rabie, był sygnalizowany przez G. Mazurkiewicz i R. Żurka (1998) z doliny Raby.

Fala kulminacyjna, która przeszła między godz. 18 a 19 przez centrum Żegociny, położone już w części pogórskiej, osiągnęła wysokość około 4-5 m ponad normalny poziom cieków i wg T. Olszewskiego (1997) sięgnęła po konewkę św. Floriana – drobnej figurki stojącej na skwerku naprzeciw kościoła. W położonym nieco niżej kamieniołomie poziom wysokiej wody bardzo wyraźnie rysuje się także na wysokości 5 m uprzątnięciem hałdy i odsłonięciem ławic skalnych. W bocznej dolinie weiosowej nr 20 (ryc. 1) potoku z Rozdziała Górnego, kilkadziesiąt metrów powyżej szosy, fala kulminacyjna osiągnęła wysokość 4 m, można więc przypuszczać, że w pozostałych dopływach z Kamionnej i Łopuszy stan wody był podobny. Na potoku Rozdziele płynącym na południe do Łososinki dość szeroką, płaskodenną doliną w Rozdziale Dolnym, poziom wody osiągnął 2,8 m obok zabudowań Pani M. Szewczyk. Największe okruchy transportowanego przez cieki materiału skalnego na całym terenie wykazują przeciętnie średnicę od 0,8 do 1,2 m, a największe stwierdzone 2,5 m (tab. 1). Wytrącona więc została ze swego położenia maksymalna frakcja zwietrzliny znajdującej się w dolinach, wyraźnie grubsza w części beskidzkiej. Siła erozyjna i transportowa cieków była jednak o wiele większa, jeśli woda wyerodowała i rozrzuciła w dnie doliny potężne wielotonowe bloki pochodzące z niszczonej obudowy drogi na terenie Żegociny i Łątki oraz licznie stwierdzone w dnach dolin inne elementy betonowe mostków, przepustów, przyczółków mostowych itp. W części beskidzkiej całkowitemu zniszczeniu uległy ujęcia wody dla Żegociny na Sance i dla Beldna na potoku pod Kamionną, a także basen kąpielowy w Żegocinie.

Faza niezwykle gwałtownej burzy i burzowych opadów oraz wezbranych cieków zaznaczyła się także licznymi procesami stokowymi w postaci spływów gruzowo-błotnych, błotnych, osuwisk, zerw i wypływów (German 1997a, 1997b, 1998a). Na stokach Łopuszy i pogórza wysokiego w Rozdziale Dolnym stwierdzono powstanie niezwykle rzadko notowanych w Karpatach Zachodnich długich spływów gruzowo-błotnych i błotnych, zainicjowanych prawdopodobnie wypływem wód typu sufozyjnego na kontakcie mięjszych do 5 m pokryw pylastych i podłoża skalnego, opisanych wcześniej (German 1998a). W Rozdziale Dolnym, na stoku zbudowanym z warstw

Tab. 1. Liczbowa dokumentacja skutków powodzi w geosystemach.

Tab. 1. Numerical documentation of the effects of floods in geosystems.

Numer doliny (rzc. 1) Number of valley (fig. 1)	Typy środowiska* Type of the natural environment	Długość dolin w m Valley length in m	Liczba osuwisk i zerm Number of landslides and slumps	Powierzchnia osuwisk i zerm Surface of landslides and slumps	
				suma w m ² total in sq.m sq	1 m dług. dol. 1 m of valley length
1	PW	750	9	667	0,89
2	WO	1500	23	1533	1,02
3	WO	1600	28	2249	1,40
4	WO	1400	27	1623	1,16
5	WO	500	12	240	0,48
6	WO	650	20	5620	8,65
7	WO	900	28	786	0,87
8	WO	800	23	1630	2,04
9	WO	600	4	92	0,15
10	PN	1300	18	303	0,23
11	PN	750	7	586	0,78
12	PN	100	-	-	-
13	PN	750	13	314	0,41
14	PN	1100	15	565	0,51
15	WO/PN	2150	31	1678	0,78
16	WO/PN	2500	22	2104	0,84
17	DD	5000	Dolna Sanka na całej długości erozja boczna, osunięcie stromych zboczy, erozja wgłębna i lokalnie akumulacja The lower Sanka all along its length, slumping of steep valley sides, deep erosion, local accumulation		
18	WO	2700	47	***	***
19	PW	2650	13	448	0,17
20	WO	1400	16	1696	1,21
21	PW	2300	26	2942	1,28
22	PŚ	1375	26	564	0,41
23	PŚ	1000	12	206	0,20
24	PŚ	2950	55	3552	1,20
25	PŚ	1000	-	-	-
26	PŚ	1060	18	805	0,76
27	PŚ	1875	35	770	0,41
28	PŚ	3325	48	1011	0,30
29	PŚ	2875	37	1191	0,41
30	WO/PN	1500	66	2319	1,55
31	PN	600	20	754	1,25
Razem/ Total		48960	699	36 248	śr. 1,11

* Typy środowiska: WO – wzniesień ostańcowych, PW – beskidzkich pogórzy wysokich, PŚ – pogórzy średnich, PN – pogórzy niskich, DD – den dolin (German 1992);

** Formy akumulacyjne: większe łachy, stożki napływowe, terasy i bariery;

*** – brak danych.

Liczba nowych rozcięć Number of new dissections	Liczba form akumulacyjnych** Number of accumulations landforms	Maks. średnica transportowanego materiału w m Max. diameter of material transported in m	Liczba śródpokry wowych przepływów cieków Number of subsurface stream flows	Straty w drzewostanie. Liczba drzew Losses in treestand. Number of trees
3	4	2,5	1	13
3	6	0,8	1	29
19	9	1,5	2	65
4	6	0,6	4	54
5	5	***	1	-
9	7	2,0	3	41+ las
3	7	0,8	1	25
7	5	1,2	-	39
2	4	0,6	3	-
11	17	1,5	-	11
1	3	1,2	1	32
2	-	1,2	-	4
5	7	1,2	5	9
2	10	0,35	-	33
13	11	1,0	2	88
9	8	1,1	1	147
Dolna Sanka na całej długości erozja boczna, osunięcie stromych zboczy, erozja wgłębna i lokalnie akumulacja The lower Sanka all along its length, slumping of steep valley sides, deep erosion, local accumulation				
23	21	1,0	2	35
4	9	0,5	-	-
5	1	0,63	1	13 + las
8	3	***	-	***
4	15	0,2	-	34
9	7	0,6	2	22
2	18	1,0	1	403
7	4	0,4	2	-
5	7	0,4	1	70
6	11	0,7	2	8
10	4	***	-	19
4	3	0,6	-	96
13	17	1,1	-	182
5	15	0,7	-	17
203	244	-	36	1 489

* Types of the natural environment: WO – monadnock heights, PW – Beskid high foothills, PŚ – medium foothills, PN – low foothills, DD – valley bottoms (German 1992);

** Accumulation landforms: major sandbanks, alluvial cones, terraces and barriers;

*** – lack of data.

magurskich, powstał pulsacyjny wypływ błotny (szczelinowy?), po którym w łące powstała wyrwa 4,4 m szeroka, 11,5 m długa, ponad 1,5 m głęboka. Po powodzi została zasypana przez właściciela łąki materiałem skalnym pochodzącym z pobliskiego osuwiska. Osuwiska stokowe są większych rozmiarów niż zboczowe i cechują się głębokimi, kilkumetrowej głębokości niszami, długimi niekiedy do kilkudziesięciu metrów. Ich znaną cechą jest brak klasycznych jęzorów, które rozplynęły się w kształcie rozległych wachlarzy błotno-gruzowych na łąkach (fot. 4). Osuwiska powstałe w brzeżnej części lasów, graniczących poniżej z łąkami, mają głębokie i szerokie nisze, a jęzory rozplynęły się pakietami, spojonymi systemem korzeniowym osuwanych wraz z nimi drzew (fot. 5). Łąki, przepojone wodą, powszechnie spełniły rolę płaszczyny poślizgowej dla osuwającego się lub spływającego w postaci mazi błotnej materiału zwietrzelinowego.

Splaszczenia śródstokowe na Łopuszy (m. in. na Przybyszówce i w osi doliny 6 – (ryc. 1), położone poniżej wylotów dolin wciosowych nacinających górne, bardziej strome stoki, zasypane zostały miększymi pokrywami gruboklastycznego materiału zwietrzelinowego, osiągającego w wielu okruchach średnicę 80 cm. Zniszczone zostały w ten sposób spore powierzchnie sadów i innych użytków rolnych.

Spływ wód o dużej energii z beskidzkich stoków Kamionnej i Łopuszy był powodem silnej erozji także na terenie pogórza niskiego, o znacznie łagodniejszej rzeźbie. Zniszczeniu uległy niemal wszystkie drogi biegnące z części beskidzkiej, zgodnie z pochyleniem stoków. Niekiedy osuwiska spowodowały całkowite przerwanie dróg. W mało odpornych skałach okna tektonicznego Żegociny ciekierodowały z dużym natężeniem, powszechnie wycinając ze stromych zboczy znaczną kubaturę zwietrzałych i silnie popękanych tektonicznie łupków, których wychodnie układają się prostopadle do biegu Sanki, z upadami skośnymi lub niemal pionowymi. Mniej podatne na erozję boczną były krzemionkowe margle żegocińskie, których błyszczące, śnieżno-białe ostrogi widoczne były po powodzi w korycie Sanki koło kościoła i naprzeciw starej masarni w Żegocinie, wymuszając kręty bieg ciekier. Po upływie pół roku przybrały one barwę kremową. Najmniej podatne na erozję w części pogórskiej okazały się gruboławicowe piaskowce grodziskie (rejon kamieniołomu) i godulskie (odcinek przełomowy Sanki pod Żarnówką), w nich też zaobserwowano najmniejsze zmiany w kształcie skalnego koryta i na zboczach. Największe zmiany na pogórzu niskim nastąpiły w osi łagodnej dolinki nieckowatej przy drodze do Bytomskiej, odmładzanej przez boczną dolinę wciosową Sanki. Jest to interesujący przykład działania erozji wstecznej na przekształconym antropogenicznie i wyrównanym odcinku dawnego dna małego ciekier, o nieznacznym spadku na pogórzu niskim, odprowadzającego wody z dużej doliny wciosowej na Łopuszy. W ten wyrównany odcinek wcina się od dołu odmładzająca formę dolina wciosowa. Proces erozji wstecznej na przestrzeni 20 lat spowodował wydłużenie się wciosu dolnego zaledwie o 1 m. W strefie granicznej odcinka odmłodzonego doszło w czasie powodzi do wycięcia przez spływające z Łopuszy i Żarnówki wody – nowej formy przypominającej w przekroju literę U, o długości 15 m, szerokości 3 m, głębokości 2 m, której dalszy rozwój na przestrzeni roku 1997/98 postępuje niezwykle dynamicznie. Podłoże formy stanowią: miększa pokrywa pylasta, pod nią ility, żwiry i łupki płaszczowiny podśląskiej.

Istniejący wcios powiększył na skutek erozji wstecznej o 3 m niszę, która ma 5 m szerokości i 2 m głębokości. Cały wyerodowany materiał z tych dolin został wyniesiony, łącznie z dużą hałdą nagromadzonych we wciosie śmieci. Nadmienić trzeba, że w dwa miesiące po powodzi pojawiły się w tym samym miejscu i w wielu innych dolinach sterty nowych śmieci, mimo istniejącego w gminie, zorganizowanego od lat ich wywozu.

Fala kulminacyjna, będąca zapewne nałożeniem się fal powodziowych Sanki i dopływu z Rozdziela Górnego, która dotarła do części pogórskiej, miała bardzo gwałtowny przebieg. Wg relacji M. Gądka (1997), około godz. 18 w centrum Żegociny w ciągu 5 minut Sanka wystąpiła z brzegów, niosąc najpierw krzewy, później drzewa. Te ostatnie zatarasowały przepływ w wąskim żłobie betonowym, pod nisko zbudowanymi mostkami, który zresztą bardzo szybko został zasypany niesionym materiałem i główny nurt skierował się na szosę biegnącą równoległe do ciek i na plac w centrum wsi. Gwałtownie wzbierające wody uniosły płaty asfalt, płyty chodnikowe, barierki, a następnie wycięły na placu i drodze wyrwy do 1 m głębokości. Na placu zatrzymało się 6 dużych drzew. Woda z płynącymi drzewami działającymi jak taran zmiotła z placu 2 samochody, wiatę przystanku autobusowego, kiosk spożywczy i runęła na sklepy i magazyny, zalewając je. Na odcinku pogórskim, po Łątkę Dolną, na 11 odcinkach zniszczona została droga, w niektórych miejscach całkowicie, mimo obudowy, zalane zostały i zniszczone użytki rolne, nisko nad ciekem zbudowane domy i inne zabudowania. Fala kulminacyjna zniszczyła 17 mostków, które w większości posiadały zbyt wąsko zbudowane przyczółki i położone były zbyt nisko nad ciek, hamując przepływ wód. Praktycznie na całej długości doliny doszło do podcięcia zboczy, szczególnie dużego na zewnętrznych łukach zakoli, gdzie doszło do całkowitego rozmycia drogi i przerwania komunikacji z Żegociną. Wygięte zostały rurociągi przerzucone zbyt nisko nad ciek, odgrzebany i przerwany został w Łącku Górnej gazociąg, zbyt płytko zakopany pod korytem, co wskazuje na znaczne pogłębienie doliny. W powierzchni teras nadzalewowych wycięte zostały kilkunasto- do kilkudziesięciometrowej długości wyrwy, głębokie do 1 m, na polach ornych zmyta została około 20 cm mięszka warstwa gleby, co szczególnie dobrze widoczne było na uprawach ziemniaków, a krawędź terasy została cofnięta na skutek erozji bocznej. Zalana i zniszczona została oczyszczalnia ścieków w Łącku Górnej, położona zbyt nisko nad Sanką. Zniszczone zostało wysypisko śmieci w Łącku Górnej. Na całym terenie uszkodzona została kanalizacja. Powstało poważne zagrożenie bakteriologiczne w dolinie. Gmina pozbawiona została elektryczności, gazu i łączności telefonicznej. Według szacunku Urzędu Gminy zalana została powierzchnia 148 ha użytków rolnych, uszkodzonych zostało 293 gospodarstw, a 65 ha nadawało się po powodzi do rekultywacji.

Faza IV. Opadanie wody w ciekach

Ta ostatnia faza cechowała się zanikiem opadów, stopniowym powrotem cieków do koryt i trwała do dnia następnego. Na skutek zmniejszającego się ciśnienia wody na zbocza i postępującej relaksacji, nastąpiło dalsze osunięcie się zboczy podciętych przez wysoką falę. Słabnąca energia cieków sprawiła, że osunięty materiał pozostał

już w części pod zboczami lub utworzył w korycie, tuż poniżej osuwisk, długie i dość wysokie łachy. Często opierają się one o przeszkody typu barier z drewna lub rosnących w korycie drzew i przebiegają skośnie lub nawet prostopadle do osi doliny. Liczba stwierdzonych form akumulacyjnych, do których zaliczono większe łachy, stożki napływowe i bariery, wynosi 244 (tab. 1). Zmieniły one na wielu odcinkach bieg cieków, wymusiły ich krętość, bo tuż poniżej łach lub barier doszło do podcięcia przeciwległych zboczy na skutek zmiany kierunku nurtu. W górnych odcinkach wciósów powstałe w tej fazie osuwiska zatarasowały niekiedy całkowicie dolinę i po powodzi ciek płynie w tych miejscach w rumoszu (fot.6). Koryta powodziowe w tej fazie zostały zasłane materiałem akumulacyjnym, który zapoczątkował przejście wielu dolin wciósowych w doliny płaskodenne. U wylotów dolin bocznych utworzyły się dochodzące do 3 m wysokości stożki napływowe. Cechą charakterystyczną złożonego materiału akumulacyjnego w dnach dolin jest wymieszanie różnofrakcyjnych okruchów skalnych z drewnem i wieloma elementami infrastruktury (płyty z mostków, z obudowy ciek, rury, kręgi przepustowe, asfalt) oraz śmieci. Po opadnięciu wód ukazało się 36 kilkudziesięciometrowych odcinków dolin, na których cieki płyną śródpokrywowo, w nowouslypanych, grubofrakcyjnych aluwiach (tab.1). Sytuacja ta jest dość trwała i w ciągu roku od powodzi nie doszło do przecięcia tych pokryw przez cieki, mimo kilku mniejszych wezbrań. Opadająca woda pozostawiła też liczne pokrywy żwirowe na powierzchni teras i w dnach dolin płaskodennych, które przerwały na tych powierzchniach proces glebowy i wegetacyjny. Grunty orne w dnach dolin rychło po powodzi zostały zaorane wraz z resztkami zniszczonych upraw. Przy końcu fazy IV zarysowały się w wielu miejscach w lejach źródłowych, na zboczach i na stokach pęknięcia i szczeliny w pokrywie zwietrzelinowej, wskazujące na destabilizację podłoża, które nie zostało osunięte podczas tej powodzi. W sprzyjających okolicznościach opadowych powierzchnie te zapewne ulegną osunięciu wzdłuż powstałych, głębokich szczelin. W badanych dolinach łącznie, na długości 48 960 m oraz w ich najbliższym otoczeniu powstało 699 osuwisk, zerw i spływów gruzowo-błotnych oraz 203 nowe rozcięcia. Powierzchnia osuwisk, zerw i spływów wynosi 36248 m² w dolinach o długości 41 260 m. Przeliczona powierzchnia form w stosunku do długości dolin daje średni wskaźnik 1,11 m² powierzchni form na 1 m długości dolin (tab. 1). Przeciętnie są to osuwiska małe, w większości zboczowe, o powierzchniach do 100 m². W tej liczbie mieszczą się jednak 73 osuwiska o powierzchni od 100 do 540 m², jedno o powierzchni 1000 m² i największe z powierzchnią 4550 m². Do pełnego obrazu skutków funkcjonowania środowiska w dniu 9 lipca 1997 roku brak jeszcze części form powstałych na stokach, nie pomierzonych z powodu braku środków.

Zakładając minimalne średnie wcięcie cieków w głąb na całym obszarze na 1 m (a z badań wiadomo, że osiągało ono 0,5-1 m, dochodząc do 2 m w części beskidzkiej, a maksymalnie do 3 m) i mnożąc je przez dwa zbocza i długość zbadanych dolin (48 960 m), można oszacować bardzo ostrożnie powierzchnię odsłoniętą na skutek erozji wgłębnej na co najmniej 97 920 m². Z połączenia tej sumy z powierzchnią osuwisk, zerw i spływów gruzowo-błotnych wynoszącą 36 248 m² wynika suma

134 168 m² powierzchni odsłoniętej, obrazująca rozmiary minimalnej rzeczywistej powierzchni zdegradowanej podczas powodzi w analizowanych geosystemach.

5. Wnioski

Opady rzędu 122 mm i powódź w dniu 9 lipca 1997 roku, poprzedzone opadami 121 mm w dniach 4-8 lipca, ukazały mechanizm funkcjonowania środowiska beskidzkiego i pogórskiego w warunkach skrajnych, występujących niezwykle rzadko. Z przedstawionej analizy faz funkcjonowania wynika, że największa praca została wykonana przez wodę w niezwykle krótkim czasie fazy III, czyli wzbierania cieków do fali kulminacyjnej włącznie oraz w początkowym okresie fazy IV, który można oszacować na około 1-1,5 godz.

Z przedstawionych czynników funkcjonowania pierwszorzędne znaczenie przypisać należy opadom, uwarunkowanym sytuacją synoptyczną, które miały miejsce w bardzo krótkim czasie, orografii geosystemu odznaczającej się dużą energią potencjalną i koncentrycznemu kształtowi zlewni. Czynniki te w pierwszym rzędzie powinny być uwzględniane w projektowaniu zagospodarowania den dolin, w celu zminimalizowania skutków zdarzeń ekstremalnych. Tymczasem zagospodarowanie geosystemów Sanki i potoku Rozdziele obliczone zostało na niskie lub co najwyżej przeciętne stany wody.

Doliny nacinające stoki i bardzo liczne drogi spełniły w czasie powodzi rolę korytarzy dla płynącej masy wody i jej energii, przekazując je do doliny głównej. Na skutek takiej ich funkcji powstała bardzo duża liczba nowych form wzdłuż dolin i doszło do istotnej zmiany ich granic w krajobrazie. Granice między zboczami dolin i stokami uległy przesunięciu w kierunku stoków, większemu rozczłonkowaniu i znacznemu wyostreniu, po powodzi są nieustabilizowane i nadal podlegają zmianom. Nowe granice przybrały postać granic ostrych, liniowych, na których zmienia się szereg cech środowiska, decydując o ich kontrastowości. Poszerzeniu i pogłębieniu uległy zatem wszystkie geokompleksy dolin, a zmniejszyła się powierzchnia geokompleksów stoków i wierzchowin. Nastąpiły więc zmiany w powierzchniowej strukturze środowiska zlewni. Wiele dolin wciosowych wskutek agradacji przekształciło się w doliny skrzynkowe, z jakumulacyjnym dnem. Ich dalszy rozwój, w zależności od typu opadów i ich przebiegu będzie zmierzał albo w kierunku wyprątania pokryw i pogłębienia wciosów, albo w kierunku stabilizacji i sukcesji roślinności na płaskie, akumulacyjne dna.

W dolinach płaskodennych zmniejszeniu uległa powierzchnia teras, na rzecz poszerzenia koryta, powiększeniu uległa powierzchnia dolin na skutek cofnięcia się ich zboczy. Cieki na znacznej długości zmieniły swój bieg w nowoukształtowanych dnach dolin.

Zmianie uległy także granice antropogeniczne, typu żłobów betonowych lub obudowy koryt, które przed powodzią można było traktować jako granice stabilne.

Wraz z powstaniem nowych form terenu powstały także zupełnie nowe granice. Nastąpił więc wyraźny wzrost obiektywnie istniejących granic w środowisku przyrodniczym zlewni i wzrosła fragmentacja obszaru.

Na co najmniej 134 168 m² powierzchni przerwany został proces glebotwórczy i wzrost roślin. Dotychczasowe gleby, przykryte grubymi pokrywami akumulacyjnymi, przeszły w stadium gleb kopalnych. Na pozostałym obszarze nastąpiła ich oligotrofizacja. Dużemu zubożeniu uległa roślinność i świat zwierzęcy dolin. Po powodzi środowisko przyrodnicze z wolna zmierza do osiągnięcia nowej równowagi, a jego elementy dopasowują się do zaistniałej, nowej sytuacji.

Przemiany, jakie zaszły w pogórskiej, przekształconej antropogenicznie dolinie Sanki pod wpływem czynników naturalnych, wykazały trend ku renaturalizacji doliny. Ujawniły się z całą mocą rozliczne konflikty między zagospodarowaniem doliny przez człowieka a jej funkcjami przyrodniczymi (German 1998b), dla realizacji których ciek wyraźnie „potrzebuje” większej powierzchni w dolinie niż ta, którą mu pozostawiono.

Z ograniczonego zasięgu terytorialnego takiego ekstremalnego funkcjonowania środowiska, jakie miało miejsce w geosystemie Sanki i kilku podobnych zdarzeń w innych regionach wynika, że naturalny, gwałtowny rozwój środowiska może przebiegać selektywnie, w obrębie tylko niektórych geosystemów; przechodzą one wówczas na nowy etap rozwoju, podczas gdy inne, nawet sąsiadujące z nimi, nie podlegają większym zmianom. Skala zmian, jakie następują w przyrodzie na skutek rzadkich zdarzeń ekstremalnych, nasuwa refleksję o ich pierwszoplanowej roli w kształtowaniu i rozwoju środowiska.

Przedstawiony sposób funkcjonowania środowiska okolic Żegociny w warunkach ekstremalnych, któremu poddane zostały odcinki 4 płaszczowin Karpat fliszowych, może być reprezentatywny dla fliszowych Karpat Zewnętrznych.

Powstałe spływy gruzowo-błotne i błotne, przypominające w mikroskali zjawiska typu „sieli” (które autorka obserwowała w Gruzji w warunkach klimatu subtropikalnego wilgotnego z opadami rzędu 2000-2500 mm rocznie), są nietypowe dla klimatu strefy umiarkowanej, ale sporadycznie, w skrajnych warunkach opadowych, możliwe.

Podobnie gwałtowne zjawiska notowane były także w przeszłości na terenie Karpat polskich, o czym świadczą przekazy m. in. W. Pola z Podhala w połowie XIX wieku (Pol 1869) i M. Zaruskiego (1958) w 1914 roku z Tatr Wysokich.

Literatura

- Forman R.T.F., 1995, *Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions*, Cambridge University Press, 1-632.
- Gądek M., 1997, *Relacja Mirosława Gądka z Żegociny*, Arch. Urzędu Gminy w Żegocinie.
- German K., 1984, *Struktura typów uroczysk na pograniczu Pogórza Wielickiego i Beskidu Wyspowego w okolicach Żegociny*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 59, 7-19.
- German K., 1992, *Typy środowiska przyrodniczego w zachodniej części Pogórza Karpackiego*, Rozpr. Habil. UJ, 246, 1-213.
- German K., 1997a, *Przyrodnicze skutki katastrofalnych opadów i powodzi 9 lipca 1997 na obszarze Żegociny i okolic*, Forum Nauk-Techn., Powódź 1997, 2, IMGW, Warszawa, 247-258.

- German K., 1997b, *Krajobraz zlewni Sanki po powodzi w lipcu 1997*, Gazeta Obserwatora IMGW, 6, 33-35.
- German K., 1998a, *Przebieg weszbrania i powodzi 9 lipca 1997 roku w okolicach Żegociny oraz ich skutki w krajobrazie*, [w:] *Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 roku*, L. Starkel, J. Grela (red.), PAN, Oddz. w Krakowie, Kraków, 177-184.
- German K., 1998b, *Konflikt funkcji przyrodniczych i antropogenicznych w dnach dolin*, [w:] *Krajobraz dolin rzecznych .po katastrofie*, Międzynarod. Konf. Nauk., Politechnika Krakowska, Kraków 15-16 IX 1998, 53-56.
- Książkiewicz M., 1968, *Geologia dynamiczna*, Wyd. Geol., Warszawa, wyd. III.
- Mazurkiewicz G., Żurek R., 1998, *Bezpośrednie ekologiczne skutki powodzi w lipcu 1997 roku na przykładzie rzeki i zbiornika zaporowego*, [w:] *Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 roku*, L. Starkel, J. Grela (red.), PAN, Oddz. w Krakowie, Kraków, 195-201.
- Niedźwiedz T., Czekierda D., 1998, *Cyrkulacyjne uwarunkowania katastrofalnej powodzi w lipcu 1997 roku*, [w:] *Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 roku*, L. Starkel, J. Grela (red.), PAN, Oddz. w Krakowie, Kraków, 53-66.
- Olszewski T., 1997, *Lipcowy żywioł*, maszynopis dla „Ziemi Bocheńskiej”, Archiwum Urzędu Gminy w Żegocinie.
- Pol W., 1869, *Obrazy z życia i natury*, serya I, *Północny wschód Europy*, t. I, Nakład i własność Towarzystwa Przyjaciół Oświaty, Kraków.
- Richling A., 1992, *Kompleksowa geografia fizyczna*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 1-375.
- Zaruski M., 1958, *Na bezdrożach tatrzańskich, wycieczki, wrażenia i opisy*, wyd. III, Sport i Turystyka, Warszawa, 1-384.

Functioning of flysch geosystems in a vicinity of Żegocina under extreme precipitation-flood conditions of 9 July 1997

Summary

The purpose of the paper is to show mechanisms of geosystems functioning under an influence of heavy downpours and of a flood of 9 July 1997, as well as to show landscape changes that were induced by natural processes of a high dynamics unknown in this century.

The study area, located in the Western Carpathians at an interface of the Beskid Wyspowy Mts. and Pogórze Wielickie Upland, was the author's object of research on structure and natural environment layout already in the 1980s. After the landscape modification of 9 July 1997, a detail field mapping of the downpours and food effects in the natural environment and infrastructure was carried out.

Four types of the natural environments (German, 1992) are assigned to the study area, namely: Beskidian tor heights and high uplands (Beskid Wysoki Mts.), low uplands and medium-high uplands (Pogórze Wielickie). The study area is built of

4 flysch nappes: Magura, Fore-Magura, Silesian and sub-Silesian ones. A highly differentiated substratum is reflected in topography, slope inclination, relief forms, soils and valley gradients conditioning stream energy. Land use corresponds to the differentiated natural conditions.

When considering functioning under average conditions, the top heights of the Beskidian part are a high potential energy area and have a typical erosional-denudation character; high uplands are recipients of the matter originating from the heights but are also characterised by the matter output (yet to a small degree) and its partial accumulation in flat-bottom valleys. The low uplands form an accumulation base level while the medium-high uplands are characterised by a mediocre matter output and a medium energy of the streams.

The above mentioned types of the environment, connected by a valley system, form two separate geosystems of the Sanka and Rozdziele streams (Fig. 1).

A peculiar functioning on 9 July 1997 was due to:

- a synoptic situation (contrastive air masses led to development of high clouds of a *Cumulonimbus* type),
- heavy downpours (122 mm at Rozdziele Górne in 2 hours, and estimated totals up to 150 mm in highlands (Niedźwiedź, Czekerda, 1988)),
- accumulation of weathered material in a 25 year long period of precipitation deficit,
- a high energy relief in the Beskidian part,
- a fan-like pattern of a drainage network resulting in runoff concentration,
- absorbable and impermeable covers saturated with water,
- a tremendous volume and energy of water,
- energy from thunders,
- and an earlier water capacity depletion by forests.

The valley management (narrowing of river channels, shallow-seated bank and road protection structures, too small gaps of many bridges etc.) had also a pejorative influence on a way of geosystems functioning and on tremendous losses in the infrastructure.

Four phases have been distinguished in functioning of the geosystems.

Phase I lasted from 4 to 8 July and, with precipitation total of 121.6 mm, caused saturation of weathering covers with water as well as filling up the 1st level ground water reservoirs.

Phase II – a heavy thunderstorm amounting to 122 mm – that was almost completely transformed in sheet flow causing surface out-washing (which was also observed in forest with a weak undergrowth), erosion of roads, land scars and landslides on slopes and field terraces, incision of slope niches and stream head niches.

Phase III comprises a rapid rise in stream water level, removal of branches, soil, weathering covers and refuses from the valleys, and then, a downcutting (up to 3 m at maximum), lateral erosion initiating landsliding on slopes and backward erosion enlarging head water niches. The slope landslides formed in this phase are characterised by a lack of toes as the entire material was transported down-valley. Almost all coarse weathered material has been removed from the valley bottoms. This removed material plugged too narrow culverts and blocked the roads where 2-3 m

high alluvial cones had formed. Due to stream lateral erosion a significant volume of material was cut off from the slopes, especially in the case of the weathered shale series. A selective downcutting caused the step-like longitudinal profiles of obsequent valleys to manifest in a more pronounced way, and caused the subsequent valley-sides to become more asymmetric as well. In the stream channels, the fallen trees triggered formation of the barriers, reaching the height up to 3 m after the flood, and built of wood, rock fragments, rubbish and elements of the destroyed infrastructure.

Culmination phase, reaching 4-5 m above the mean water level, completely destroyed the road, square and several buildings in the centre of Żegocina city as well as braking the road in many localities in the Łąka Górna, disconnecting the transportation network between villages.

On slopes numerous landslides (whose toes crept as packages of weathered material entangled with tree roots or as broad fans), debris-mud flows and mudflows, stimulated by outflow of a suffosion type, were formed.

Intra-slope flattings had been buried by weathering covers (with diameter of the rubble up to 80 cm) that propagated from the valleys located up-slope. Almost all cart roads whose layout followed the slope gradient had been destroyed.

The culmination phase was short-lasting yet very rapid. Water of a very high energy floated large trees, swashed cars in the city centre as well as the kiosk and bus-stop shelter, destroyed 17 bridges, water uptakes in Bełdno and Żegocina, the swimming pool in Żegocina, a sewage treatment plant and the refuse dump in Łąka Górna, bent or broke ducts (including a gas pipe) and devastated sewage network. All the above harms and dead animals buried in sediments resulted in a serious bacteriologic hazard.

According to the Local Authority Board 148 ha had been flooded and 293 households had suffered damage.

Phase IV – comprises the falling of the flood wave and a gradual return of streams to their channels. The decreasing water pressure on slopes caused them to slump again. The material from the landslides of this phase had been partially left at the slope feet and formed high bars in down streams. These bars changes the channel pattern, forced a channel sinuosity and are a cause of stream throughflow in numerous fragments of the valleys.

The magnitude of transformation may be evidenced from 699 landslides, land scars and debris-mud flows (48 960 km long) in the valleys. The above forms amount to the area of 36 285 m². Due to downcutting, estimated in the studied area for 1 m at average, the area of 97 920 m² had been exposed.

The work of flowing water was most effective in the third phase and at the beginning of the fourth phase, i.e. within 1-1.5 hours. The cardinal role in the extreme functioning was played by precipitation as well as by the drainage basin shape and topography of the geosystem that conditioned potential energy of the streams. The valleys, numerous in the discussed region, playing the role of flumes, had been widened and deepened, new incisions had been formed, and linear border of the landforms show instability. The area of slopes and terraces in the valley bottom had decreased. A part of the incision valleys had been transformed into flat bottom valleys with

accumulation floors. Anthropogenic borders, such as concrete bank protections, for instance, which used to be treated as stable had been altered as well. Soil-forming processes and vegetation growths had been interrupted over large areas. 1489 trees and two huge forest patches had been devastated. Due to degradation of such a large area, oligotrophisation of soils and vegetation and animal realms took place. Alternations in the upland part, transformed anthropogenically, showed a propensity to the valley re-naturising, showing many discrepancies between the valley management and their natural functions.

The scale of changes which occur in the nature due to rare yet extreme events but affecting the environment with a tremendous intensity point to the principal role of such events in modelling and development of the environment.

The above presented way of functioning of the environment in the vicinity of Żegocina, to which four nappes of the flysch Carpathians had been subjected, may be representative of the extreme functioning of the Beskidy Mts. and the Carpathian Foreland environments.

Translated by Teresa Mrozek

*Krystyna German
Zakład Geografii Fizycznej Instytutu Geografii Uniwersytetu Jagiellońskiego
ul. Grodzka 64, 31-044 Kraków*