

**FUNKCJONOWANIE SYSTEMU STOKOWEGO  
W WARUNKACH ZABURZONEJ RÓWNOWAGI DYNAMICZNEJ  
(NA PRZYKŁADZIE DORZECZA ŁOSOSINY)**

**ELŻBIETA GORCZYCA**

**1. Wstęp**

Opracowanie modelu opisującego przekształcenie stoków przez procesy masowe wywołane ekstremalnymi impulsami opadowymi oraz przebieg ich relaksacji jest rezultatem badań prowadzonych w dorzeczu Łososiny w latach 1997-2000 (Gorczyca 2004). W opracowaniu zastosowano podejście systemowe, z wykorzystaniem modelu typu „proces-odpowieź” (w rozumieniu Chorleya, Kennedy 1971). Przedmiotem badań jest system stokowy dorzecza Łososiny poddany działaniu czynników zewnętrznych (meteorologiczno-hydrologicznych), których presja doprowadziła do zaburzenia równowagi stoków i powszechnego uaktywnienia ruchów masowych. Założono, że w analizowanym okresie system stokowy znajdował się w stanie metastabilnej równowagi dynamicznej. Opracowanie modelu jest rezultatem połączenia wyników badań terenowych z zaczerpniętymi z literatury wynikami modelowania procesów osuwiskowych na stoku (Jemielianowa 1972 vide Jakubowski 1974; Crozier 1999, Preston 2000).

Znaczne przekształcenie stoków i dolin w wyniku serii katastrofalnych zdarzeń wywołanych przez wzmożone opady i gwałtowne roztopy miało miejsce w różnych częściach Karpat w latach 1997-2002. Jednym z tych obszarów jest dorzecze Łososiny w Beskidzie Wyspowym.

## 2. Funkcjonowanie systemu stokowego

Dla określenia roli ruchów masowych w modelowaniu stoków badanego obszaru istotne jest poznanie trzech podstawowych elementów decydujących o funkcjonowaniu systemu stokowego w warunkach zaburzonej równowagi. Pierwszy z nich charakteryzuje podatność stoków na osuwanie ukształtowaną przez szereg czynników naturalnych i antropogenicznych oddziałujących w przeszłości i obecnie na system stokowy. Drugi ze wspomnianych elementów charakteryzuje impuls uaktywniający ruchy masowe. Wreszcie trzeci element analizowanego modelu odnosi się do odpowiedzi systemu stokowego na impuls opadowy (ryc. 1).

### Podatność stoków na osuwanie

Podatność systemu stokowego wynika przede wszystkim ze stopnia stabilności pokryw stokowych oraz z charakteru interakcji między systemem stokowym a impulsami zewnętrznymi, mogącymi być bezpośrednią przyczyną uaktywniania ruchów masowych.

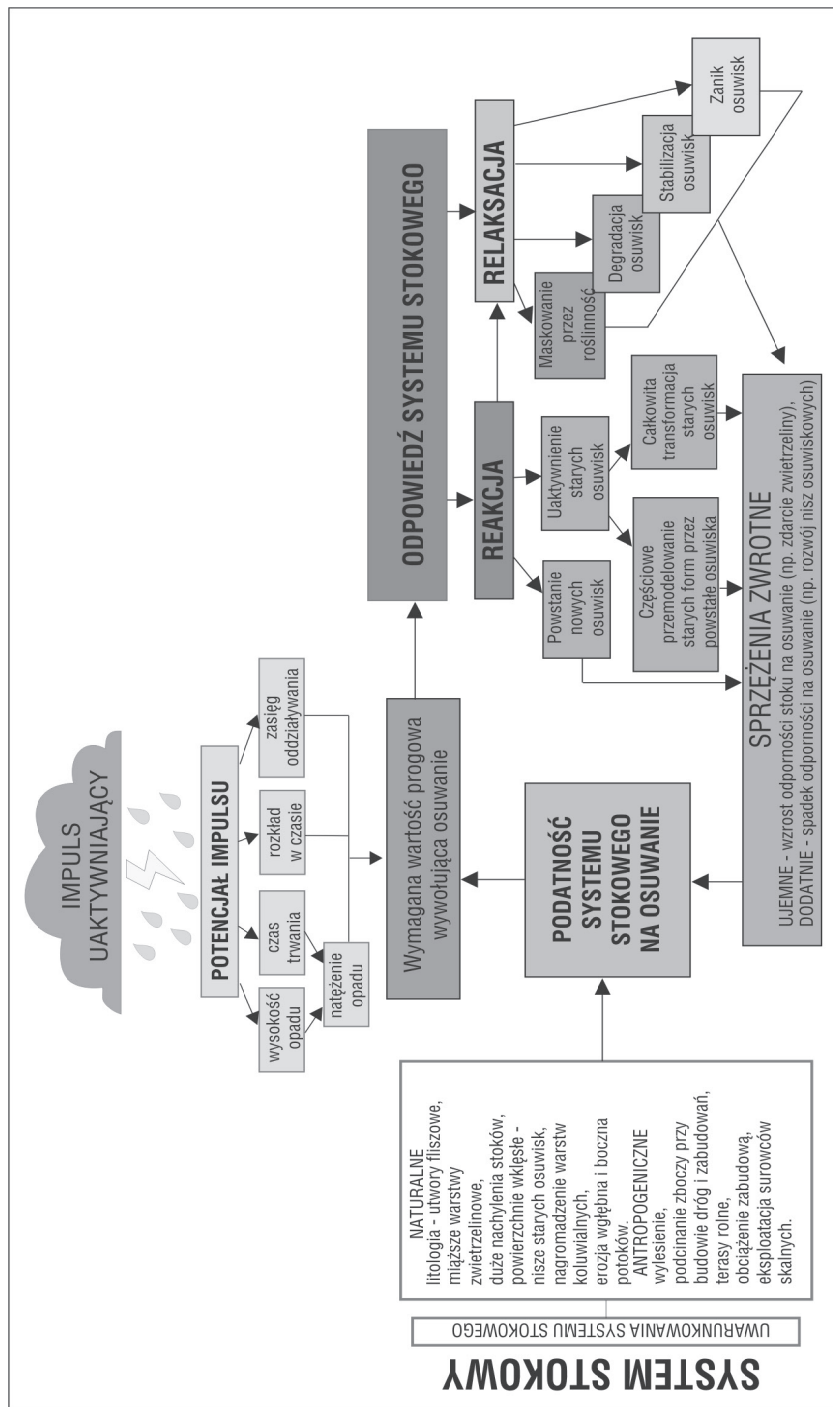
Na lokalizację powstałych form wpłynął cały szereg czynników. Najważniejszym był oczywiście rozkład przestrzenny opadu ulewnego z 9 lipca 1997 r. oraz poprzedzających go opadów rozlewnych. Rozmieszczenie osuwisk na stoku nie jest jednak równomierne. Wynika to ze zróżnicowania warunków wewnętrznych, określających podatność systemu stokowego na osuwanie takich jak: kąt nachylenia stoków, litologia warstw, miąższość zwietrzeliny, występowanie pozostałości dawniejszej aktywności osuwiskowej oraz użytkowanie i pokrycie terenu (ryc. 1).

W analizie wpływu tych czynników na uaktywnienie ruchów masowych posłużono się koncepcją zlokalizowanej niestabilności (Crozier 1986). Zgodnie z tą koncepcją pewne części stoku są szczególnie predysponowane do zachodzenia procesów osuwiskowych. Z kolei w innych częściach stoku potencjał czynnika inicjującego ulega rozproszeniu. Na podstawie usytuowania form osuwiskowych na stokach dorzecza Łososiny względem innych form terenu i infrastruktury gospodarczej określono uwarunkowania zewnętrzne sprzyjające aktywności procesów masowych (ryc. 2). Większość z ponad 1300 skartowanych form osuwiskowych powstała na stokach zadarnionych. Szczególnie predysponowane dla ich powstawania były zbocza dolin i podcięcia drogowe, gdzie powstała ponad połowa badanych form. W mniejszym stopniu są to zbocza teras wyższych, stare powierzchnie osuwiskowe oraz terasy rolne i podcięcia pod zabudowę (ryc. 1, 2).

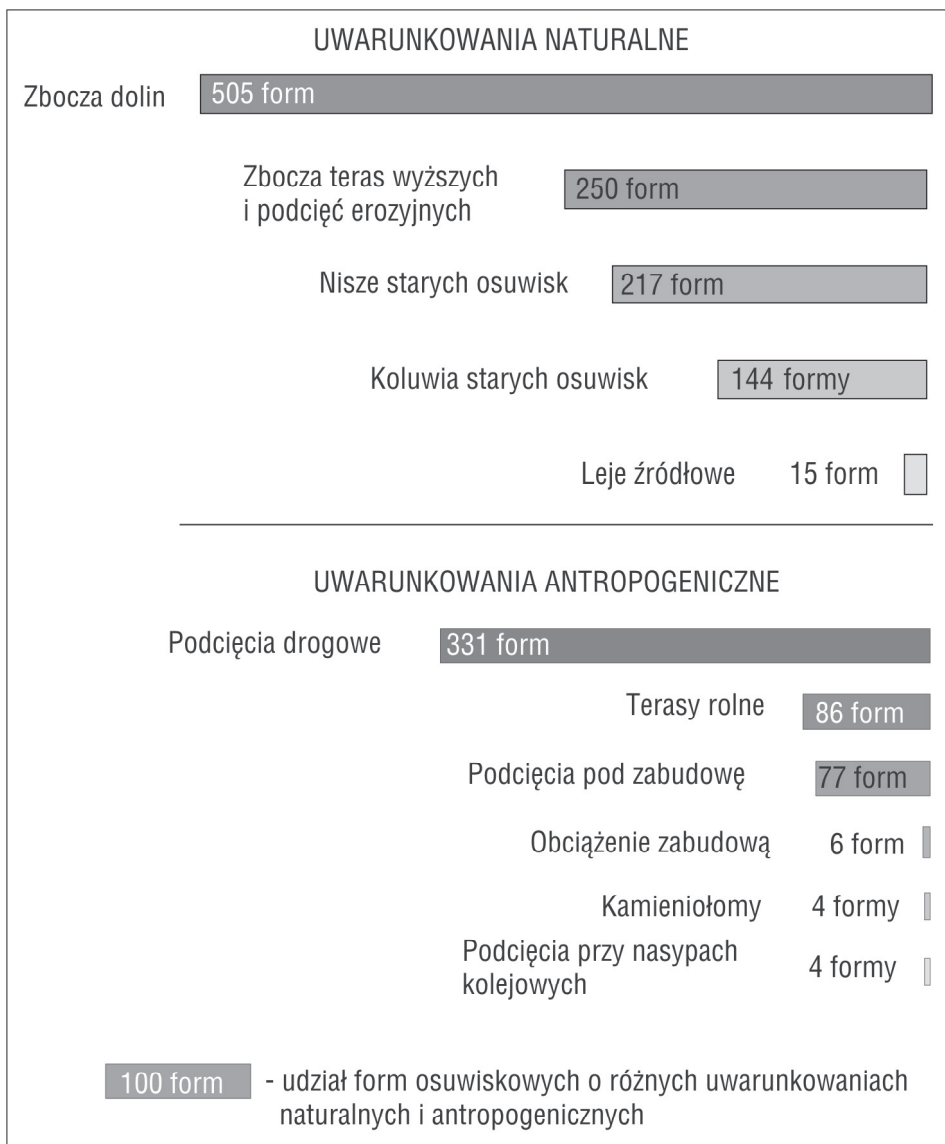
### Impuls uaktywniający

Wartości progowe są w geomorfologii uważane za bariery, które muszą być przekroczone aby mogła nastąpić zmiana natężenia, bądź rodzaju procesów kształtujących rzeźbę (Embleton, Thornes 1985). Zdolność opadów do aktywizacji ruchów masowych ujęto tu jako potencjał impulsu opadowego (ryc. 1).

W Beskidzie Wyspowym od 4 do 7 lipca 1997 r. miały miejsce rozlewne opady o dobowych wartościach 10-30 mm (dane ze stacji IMiGW w Limanowej i Rozdzielu). Kolejnego dnia owego okresu opadowego – 8.08. – w Limanowej zanotowano opad o wysokości 85 mm. W dniu 9 lipca z powstałej wieczorem tego dnia komórki bu-

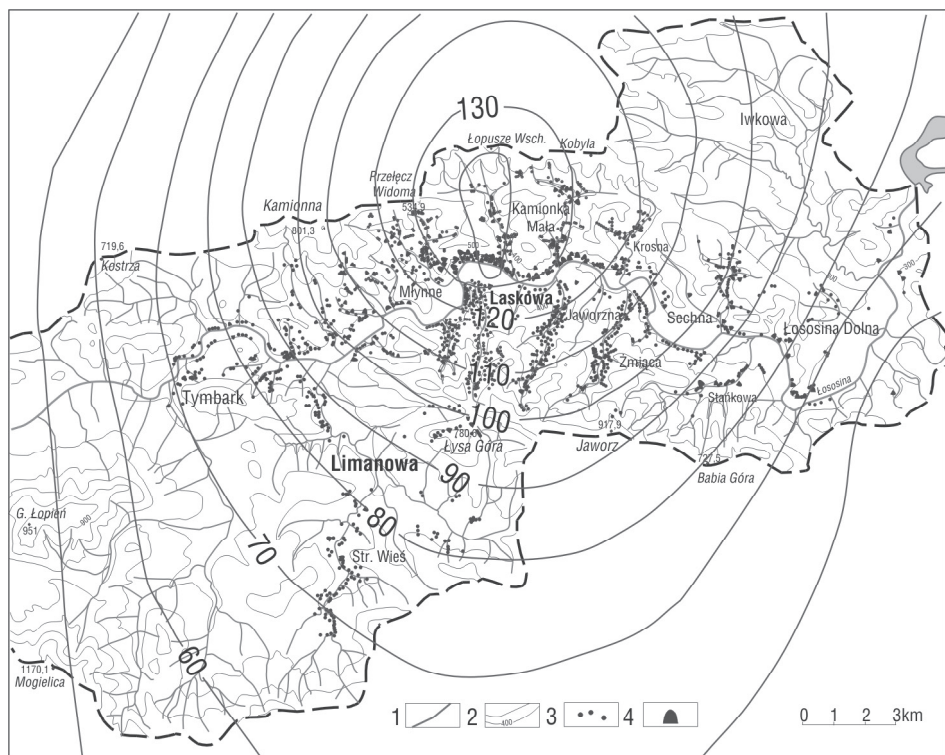


Ryc. 1. Model rozwoju systemu stokowego dorzecza Łososiny



Ryc. 2. Uwarunkowania naturalne i antropogeniczne sprzyjające aktywności procesów masowych w okresie badań 1997-2000

rzowej w ciągu dwu godzin spadło w jej centrum co najmniej 150 mm (ryc. 3). Suma opadów w okresie opadowym od 4 do 9 lipca wyniosła 218,4 mm na stacji IMiGW w Limanowej i 241,8 mm w Rozdzielu, zaś średnie natężenie całego okresu opadowego wyniosło 0,123 mm/minutę.



Ryc. 3. Lokalizacja form powstałych i uaktywnionych w okresie badań 1997-2000 w dorzeczu Łososiny na tle rozkładu izohiet opadu burzowego 9 lipca 1997 r.

1 – przebieg izohiet (źródło: T. Niedźwiedz, D. Czekierda 1998), 2 – poziomicę, 3 i 4 – formy osuwiskowe powstałe w lipcu 1997 r.

Drugim istotnym impulsem uaktywniającym procesy masowe wywołanym przez wyżej omówione opady były wezbrane wody Łososiny i jej dopływów. Wezbranie w lipcu 1997 r. zostało zaklasyfikowane jako „katastrofalne wielkie” o prawdopodobieństwie wielkości kulminacyjnego przepływu 5%.

W latach 1998 i 1999 sumy opadów rocznych przekraczały średnie wieloletnie w dorzeczu Łososiny (Mrozek i in. 2000). Na uwagę zasługuje tu zwłaszcza opad burzowy z 4 czerwca 1998 (83,1 mm w Limanowej), który wywołał następną powódź w dorzeczu Łososiny. Geomorfologiczne skutki ulewy ograniczyły się głównie do erozyjnej działalności wód wezbranych potoków i wtórnych ruchów osuwiskowych na stokach.

Na wiosnę 2000 r. nastąpiła kolejna faza wzmożonej aktywności ruchów masowych w dorzeczu Łososiny. Było to rezultatem przepojenia utworów stokowych przez wody opadowe i roztopowe. Bodźcem uruchamiającym procesy osuwiskowe okazały się wysokie opady deszczu z 5 kwietnia 2000 r. (51,8 mm w Limanowej), które po kilku godzinach przekształciły się w intensywny opad śniegu.

### 3. Odpowiedź systemu stokowego

#### Reakcja

Reakcją systemu stokowego była aktywizacja procesów osuwiskowych. Był to pierwszy etap odpowiedzi morfologii tego obszaru na zmianę rodzaju i natężenia bodźców zewnętrznych oddziałujących na system stokowy.

Na stokach obszaru badań skartowano 1193 nowo powstałe formy osuwiskowe o łącznej powierzchni 254 391 m<sup>2</sup> (ryc. 3). Skartowano także 147 stare osuwiska i złaziska o powierzchni 7 774 121 m<sup>2</sup> w różnym stopniu uaktywnione (Gorczyca 2004).

Na stokach powstały takie formy jak: osuwiska, zerwy z osiadania, systemy spływów gruzowo-błotnych i liczne rozcięcia erozyjne. Uaktywnione zostały także stare osuwiska i powierzchnie złaziskowe. Około 1300 form osuwiskowych czyli ponad 98% form skartowanych w całym okresie badań powstało lub uaktywniło się w lipcu 1997 r. Natężenie i rozkład ruchu mas zwietrzelinowych był nierównomierny. Osuwanie zaczęło się już w trakcie nawalnego opadu 9 lipca 1997 r.

Zdecydowana większość nowych form osuwiskowych powstałych w lipcu 1997 r. to niewielkie zerwy z osiadania. Są one zlokalizowane przede wszystkim wzdłuż podcięć drogowych, podcięć pod zabudowę, teras rolnych i na zboczach dolin. Innymi bardzo charakterystycznymi formami osuwiskowymi powstałymi po opadach w lipcu 1997 r. były wąskie, długie i płytkie zsuwy zwietrzliny. Te płytkie osuwiska powstawały głównie na stokach pokrytych darnią. Wiele form powstało w wyniku działania zarówno mechanizmów zsuwania jak i spływu, łącząc w sobie cechy osuwiska i spływu gruzowo-błotnego lub torencjalnego. Form o głębszej powierzchni poślizgu, a więc osuwisk skalnych i skalno-zwietrzelinowych było stosunkowo niewiele i zwykle były to uaktywnione stare osuwiska.

#### Relaksacja

Po zakończeniu się stadium głównych przemieszczeń osuwiskowych nastąpiła relaksacja systemu stokowego dorzecza Łososiny (ryc. 1). W etapie tym następuje stopniowe zmniejszanie się prędkości zmian zachodzących w systemie (Embleton, Thornes 1985). Można więc założyć, że system stokowy zbliży się po pewnym czasie do osiągnięcia nowego stanu równowagi dynamicznej.

Monitoring zmian jakie zachodziły w obrębie badanych form osuwiskowych w latach 1997-2002 pozwolił na określenie głównych kierunków ich rozwoju. Zmiany te są wypadkową działania procesów, z których jedne prowadziły do degradacji i stopniowego zanikania form, drugie zaś do ich dalszego przeobrażania. O dalszym rozwoju form osuwiskowych świadczyły przede wszystkim świeże mezo- i mikro formy będące wynikiem działania procesów grawitacyjnych i erozyjnych.

Druga połowa 1997 r. była w dorzeczu Łososiny czasem usuwania szkód po katastrofalnych opadach. Mieszkańcy terenów objętych zintensyfikowanymi procesami masowymi całkowicie lub częściowo usunęli powierzchniowe warstwy przemieszczonych mas koluwalnych w obrębie ponad 200 form osuwiskowych. W roku 1998 badane formy były nadal świeże i dobrze widoczne w rzeźbie dorzecza Łososiny. Około połowa badanych form nie wykazywała żadnych widocznych zmian wyglądu. Wały

i jezory koluwalne ponad 300 form uległy w tym roku powolnej degradacji, 102 formy pokryły się roślinnością, a w obrębie 69 osuwisk nastąpiły wtórne ruchy masowe. W 1999 r. obserwowano stopniowe osiągnięcie równowagi przez system stokowy dorzecza Łososiny. Formy utraciły świeżość; powierzchnia wielu z nich została przemodelowana przez splukiwanie i wyrównana przez miejscową ludność. Coraz więcej osuwisk zaczęło zarastać i stały się mniej widoczne w rzeźbie. Nastąpił także wyraźny wzrost liczby form (ok. 100), których krawędzie nisz osuwiskowych podlegały degradacji. Obserwowano również wtórne ruchy osuwiskowe. W 2000 r. znaczna część form podlegała dalszej degradacji i zarastaniu, co wskazywało na postępującą relaksację systemu stokowego, jednak bardzo wilgotna wiosna spowodowała uaktywnienie ponad 10 % z badanych form. Równocześnie zarejestrowano zdecydowanie mniej form, w obrębie których nie zaszły wyraźne zmiany od poprzedniego roku (290 osuwisk). Ponadto liczba form w obrębie, których doszło do degradacji nisz osuwiskowych wzrosła od 6 przypadków form w 1998 r. do 129 w 2000 r. Stosunkowo duża stabilność krawędzi nisz osuwiskowych wskazuje na to, że będą one jeszcze długo widoczne w rzeźbie dorzecza Łososiny

W momencie zakończenia badań terenowych – trzy lata po głównej fazie zapoczątkowania ruchów masowych – zdecydowana większość form nadal cechowała się dużą wyrazistością i świeżością poszczególnych części morfologicznych.

#### 4. Wnioski

Największą siłą sprawczą w przekształcaniu rzeźby obszarów górskich są zdarzenia ekstremalne. W czasie tych zdarzeń następuje przekroczenie wartości progowych wystąpienia procesów o dużej sile morfotwórczej. Do tego typu zdarzeń zaliczyć można m.in. krótkotrwałe opady o dużym natężeniu, wysokie opady rozlewne czy gwałtowne roztopy.

W dorzeczu Łososiny podobnie jak i w całych Karpatach częstość występowania opadów o katastrofalnych skutkach jest niewielka. Jednak w latach 1997-2000 miała miejsce seria zdarzeń następujących po sobie w krótkich odstępach czasu. Zdarzenia opadowe i roztopowe w latach 1997, 1998 i 2000 przyczyniły się do wzmożonej aktywności procesów masowych na stokach i podtrzymania dużej roli procesów osuwiskowych w przekształcaniu rzeźby dorzecza Łososiny.

#### LITERATURA

- Chorley R. J., Kennedy B. A., 1971, *Physical Geography, A Systems Approach*, London, ss. 370.
- Crozier M.J., 1986, *Landslides: Causes, consequences and environment*, Croom Helm, ss. 252.
- Crozier M.J., 1999, *The frequency and magnitude of geomorphic processes and landform behaviour*, *Zeitschrift fuer Geomorphologie*, Neue Folge, Suppl.-Bd. 115, 35-50.
- Embleton C., Thornes J., 1985, *Geomorfologia dynamiczna*, Warszawa, ss. 479.
- Gorczyca E., 2004, *Przekształcanie stoków fliszowych przez procesy masowe podczas katastrofalnych opadów (dorzecze Łososiny)*, Wyd. UJ, Kraków, ss. 101.

- Jakubowski K., 1974, *Współczesne tendencje przekształceń form osuwiskowych w holocenijskim cyklu rozwojowym osuwisk na obszarze Karpat fliszowych*, Prace Muzeum Ziemi, 22, Prace mineralogiczne, petrograficzne i geologiczne, 169-193.
- Mrozek T., Rączkowski W., Limanówka D., 2000, *Recent landslides and triggering climatic conditions in Laskowa and Pleśna Regions Polish Carpathians*, *Studia Geomorph. Carpatho-Balcan.*, 34, 89-112
- Niedźwiedz T., Czekierda D., 1998, *Cyrkulacyjne uwarunkowania katastrofalnej powodzi w lipcu 1997 r.*, [w:] L. Starkel, J. Grela (red.), *Powódź w dorzeczu górnej Wisły*, Wyd. PAN, Kraków, 53-66.
- Preston N.J., 2000, *Feedback Effects of Rainfall-Triggered Shallow Landsliding*, [w:] Bromhead E., Dixon N., Ibsen M-L. (red.), *Landslides in research, theory and practice, Proceedings of the 8th International Symposium on Landslides*, Cardiff 2000, Thomas Telford, London, 1239-1244.

*Elżbieta Gorczyca*  
*Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej*  
*Uniwersytet Jagielloński*  
*ul. Gronostajowa 7*  
*30-387 Kraków*