

Procesy stokowe i fluwialne przekształcające rzeźbę – czy model z lat 70. jest nadal aktualny?

Leszek Starkel*

Zakład Geomorfologii i Hydrologii IGiPZ PAN, ul. św. Jana 22, 31-018 Kraków

Wprowadzenie

Mówiąc o procesach kształtujących rzeźbę, najczęściej wydzielamy procesy sekularne i ekstremalne (Starkel 1986). Do tych pierwszych zaliczamy procesy ciągłe, takie jak denudacja chemiczna działająca przez cały rok, i sezonowe, takie jak procesy mroźowe, transport zawiesiny, a także spłukiwanie (aczkolwiek spływ powierzchniowy np. w Karpatach trwa w granicach 2% czasu).

Obok nich występują procesy epizodyczne, które przekraczając wartości progowe np. spływu powierzchniowego, upłynnienia, uplastycznienia gruntu czy przepływu pełnokorytowego, osiągają takie natężenie, że są w stanie przekształcić rzeźbę stoków i den dolin. To przekształcenie może być albo zbieżne z tendencją rozwoju konkretnych form rzeźby (współtworzy ją), albo też rozbieżne, modyfikujące, a nawet zaburzające tę tendencję rozwoju.

Nazywanie takich zjawisk ekstremalnymi ma o tyle uzasadnienie, że są to zjawiska o częstotliwości raz w roku lub rzadszej, aczkolwiek mogą się one powtarzać kilkakrotnie w ciągu roku.

Model autora z lat 70.

Pod wpływem badań stacjonarnych w Karpatach, szczególnie zainicjowanych u schyłku lat 60. na stacji w Szymbarku (Słupsk 1973, Gil 1976, Gil, Kotarba 1977) obserwacji skutków ulew i powodzi (Starkel 1960, Froehlich 1975), jak również rejestracji efektów opadu rozlewnego w 1968 r. w Dardżylińskich Himalajach (Starkel 1972a) opracowałem typologię opadów ekstremalnych i model procesów oraz przekształceń rzeźby z nimi związanych (Starkel 1972b,

1976, 1979). Początkowo dotyczył on procesów i form stokowych, później również koryt i równin zalewowych. W modelu uwzględniono 3 parametry opadów: wysokość, czas trwania i natężenie oraz infiltrację wody w podłoże zależną od natężenia i czasu trwania opadu. Wydzielono w tym schemacie 3 główne typy opadów:

- a) opady ulewne o zasięgu lokalnym o natężeniach zwykle przekraczających $1\text{--}3\text{ mm min}^{-1}$, wysokościach $50\text{--}150\text{ mm}$ i czasie trwania rzadko sięgającym $3\text{--}4\text{ godz.}$;
- b) opady rozlewny o zasięgu regionalnym o natężeniach na ogół poniżej 10 mm godz.^{-1} , wysokościach $200\text{--}1000\text{ mm}$, trwające $1\text{--}4\text{ dni}$;
- c) pory opadowe o zasięgu regionalnym o wysokościach dobowych od kilku do kilkudziesięciu mm, trwające od kilku tygodni do kilku miesięcy.

Z opadami ulewnymi powiązано intensywne spłukiwanie, erozję liniową i gwałtowne wezbrania w małych zlewniach, z rozlewnymi opadami – spływy ziemne i spływy gruzowe oraz powódzie w większych dorzeczach, a z porami opadowymi – głęboką infiltrację i głębokie osuwiska oraz okresy podwyższonych stanów wody. Wyraźnie zaznacza się w tej typologii wpływ analizy zjawisk obserwowanych przez autora w Karpatach fliszowych położonych w strefie umiarkowanej i w Dardżylińskich Himalajach położonych w strefie klimatu tropikalno-monsunowego. Schemat nie uwzględniał bezpośrednio ani litologii, ani ochronnej roli szaty roślinnej (i wylesienia), ani też kształtu stoków i charakteru koryt rzecznych. Elementy te były w pracy z 1976 r. rozważone niezależnie głównie pod kątem skali, transportu i przeobrażeń, rzeźby (Starkel 1972a,b, Słupik 1973, Froehlich 1975, Gerlach 1976, Gil 1976).

* e-mail: starkel@zg.pan.krakow.pl

Postęp badań

Już w okresie prezentacji modelu pojawiło się wiele prac dotyczących zdarzeń ekstremalnych w różnych dziedzinach klimatycznych, dotyczących m.in. zaburzeń równowagi systemów i różnego okresu powrotu do równowagi (Selby 1974, Schumm 1977), zmiennej częstotliwości zdarzeń (Burckham 1972, Froehlich 1975), rozmaitego zasięgu przestrzennego zjawisk.

Zdarzeniom ekstremalnych powodzi wiele uwagi poświęcili badacze amerykańscy (Baker i in. 1988), także indyjscy (Kale 1998). Na rolę pór opadowych zwrócili uwagę Gil i Starkel (1979), a na rolę ulew w tworzeniu spływów w Tatrach – Kotarba (1979). Od 1995 r. wzrosła częstotliwość gwałtownych ulew, wywołując zainteresowanie tym problemem (Starkel i in. 1997, Rodzik i in. 1998). Opad rozlewny w dorzeczu górnej Wisły oraz towarzyszące mu ulewy pozwoliły rozpoznać wielkości progowe transportu rumowiska dennego i spływów gruzowych (Froehlich 1998). Zwrócono większą uwagę na istotną rolę morfotwórczą zgrupowań zdarzeń ekstremalnych w kolejnych latach (Starkel 1996, 2006, Rączkowski, Mrozek 2002, Gorczyca 2004), choć już wcześniej było ono sygnalizowane (Ziętara 1968, Soja 1977).

Równolegle prowadzone badania w Indiach pozwoliły poznać różne tempo przemian stoków i koryt rzecznych, zależne nie tylko od ingerencji człowieka, ale od częstotliwości opadów rozlewnych, które zdarzają się co 20–50 lat w Dardżylińskich Himalajach (Froehlich, Starkel 1995, Starkel, Basu 2000), ostat-

nio co 2–3 lata u brzegu Bhutańskich Himalajów (Starkel, Sarkar 2002) i corocznie w rejonie Cherrapunji (Starkel, Singh 2004, Soja, Starkel 2007).

Potrzeba rozszerzenia modelu

Na jednym prostym modelu trudno jest ująć zależności między parametrami decydującymi o złożoności procesów i kierunków przemian występujących w czasie zdarzeń ekstremalnych przekształcających rzeźbę stoków i den dolin. Dlatego proponuję posłużenie się szeregiem diagramów (modeli) ilustrujących te związki.

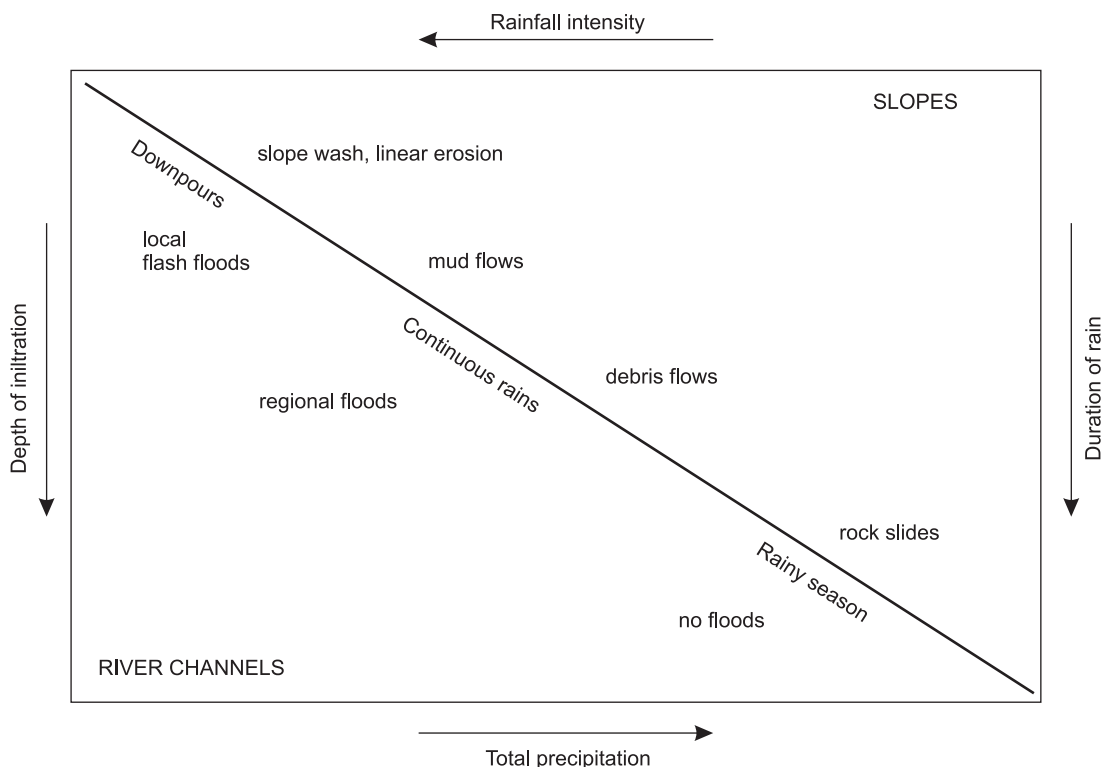
Modelem wyjściowym pozostaje diagram pokazujący typy opadów ekstremalnych, ale bez wskazania na konkretne procesy rzeźbotwórcze, które zależą od przepuszczalności pokryw decydujących o procesach grawitacyjnych. Natomiast elementem dodatkowym na 4 osi może być powierzchnia obszaru objętego zdarzeniem ekstremalnym.

Wśród typów opadów ekstremalnych pozostają trzy podstawowe kategorie:

- a) ulewy krótkotrwałe,
- b) opady rozlewny,
- c) pory opadowe.

Obok tego wyróżniono zdarzenia złożone – nakładające się (por. Starkel 2004, 2006):

- d) ulewa poprzedzona opadem rozlewnym, wywołująca równocześnie przekształcanie systemów stokowych i korytowych,
- e) pora opadowa z towarzyszącą ulewą,



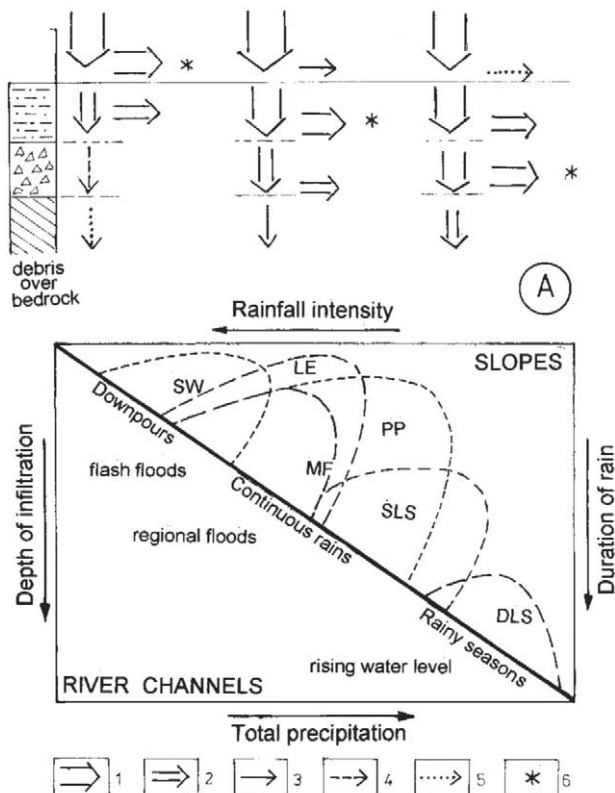
Ryc. 1. Model typów opadów i procesów ekstremalnych opracowany w latach 1976–1979 przez autora

f) roztopy (przy zamrożonej glebie) z towarzyszącym opadem.

Osobny diagram przedstawia podział opadu ekstremalnego na spływ powierzchniowy, spływ śródpokrywy i głęboki spływ gruzowy. Pojemność wodna podłoża i tempo infiltracji, a zatem litologia decydują zarówno o skali spłukiwania, jak i o wystąpieniu różnego typu ruchów masowych, a także sufozji (por. Starkel 1960).

Użytkowanie ziemi i szata roślinna decydują o wystąpieniu spłukiwania i spływów błotnych o dużej intensywności. Spłukiwanie na uprawach okopowych jest o 3–5 rzędów wielkości wyższe niż w lesie i jednorazowo bywa zmyta cała warstwa orna (Starkel 1972b, Gil 1976). Spływy ziemne po opadzie 600–1000 mm na stokach Dardżylińskich Himalajów były w lasach niemal nieobecne, natomiast na plantacjach herbaty objęły 20–30% powierzchni stoków (Starkel 1972a).

Elementem na ogół niedocenionym jest typ rzeźby, z którym wiąże się nachylenia stoków, typ i miąższość utworów pokrywowych, często odziedziczonych z okresu poprzedniej morfogenezy (np. peryglacialnej w Karpatach).



Ryc. 2. Przykładowa wersja modelu typów opadów i procesów dla gór fliszowych

A) uwzględniająca cechy rzeźby niskich gór i budowy podłoża. Nad modelem rozkład różnych typów opadów na spływ powierzchniowy, infiltrację i spływ podziemny. Znaki: 1–5 – różny udział spływu lub infiltracji, 2 – główny czynnik rzeźbotwórczy. Skróty literowe: SW – spłukiwanie, LE – erozja liniowa, PP – sufozja, MF – spływy błotne, SLS – płytkie osuwiska, DLS – głębokie osuwiska

Z rzeźbą wiąże się występowanie osadów i przekształceń form wywołanych opadem rozlewnym na sąsiednim obszarze, np. powodzie w źródłowej części dorzecza lub spływów gruzowych spowodowanych ulewą w wyższym piętrze wysokogórkim.

Częstotliwość zdarzeń ekstremalnych

Ekstremalne zdarzenia opadowe decydujące o przekształcaniu systemów stokowych i korytowych mają różną wielkość i częstotliwość w różnych strefach klimatycznych (Starkel 1976, 1979). Różny też jest zasięg przestrzenny tych zjawisk. Generalnie możemy podzielić je na klasy o różnym prawdopodobieństwie występowania zdarzeń:

- 1–10 na rok 100–1000‰;
- raz na 1–2 lata 50–100‰;
- 2–10 lat 10–50‰;
- 10–100 lat 10–100‰;
- 100–1000 lat 1–10‰.

Te najczęstsze (coroczne liczne ulewy i raz na 1–2 lata opady rozlewne) w rejonie Cherrapunji należą do normalnych zjawisk tego reżimu opadowego i są częścią składową systemu morfogenetycznego (Soja, Starkel 2007). Podobnie coroczne powodzie roztopowe na obszarach subarktycznych (Woo 1986). Na przeciwnym krańcu tabeli są ulewy na obszarach pustynnych, które zdarzają się raz na stulecie lub tysiąclecie.

Częstotliwość ulew czy opadów rozlewnych nie jest stała. W różnych dziedzinach klimatycznych zdarzają się zgrupowania lat czy dekad o większej częstotliwości (w stosunku do przeciętnej) – mówimy o tzw. clusteringu. Wówczas brak czasu na stabilizację np. stoku osuwiskowego lub koryta roztokowego m.in. poprzez ponowne utrwalenie roślinnością. Kształtuje się nowy układ metastabilnej równowagi, który albo może nadać nowy kierunek rozwoju (Selby 1974), albo też np. po zakończeniu częstych ulew czy powodzi może nastąpić powrót do parametrów koryta z okresu poprzedniego (Burkham 1972).

Kierunki zmian systemów stokowych i korytowych – anatomia i współzależność

Zmiany rzeźby następują w czasie procesów o skali ekstremalnej, które na stoku i w dnach dolin rzecznych nie są przeważnie ani synchroniczne, ani o podobnym nasileniu. System stokowy będący dostawcą zarówno wody, jak i rumowiska do koryt rzecznych zachowuje bowiem cechy autonomiczne szczególnie w czasie krótkotrwałych ulew.

W rozważaniach o ewolucji stoku dominują nadal dwie koncepcje ich rozwoju poprzez cofanie i spłasz-

czanie. W czasie ulew w krajobrazach wyżynnych i pogórskich strefy umiarkowanej najczęściej przekraczane są progowe wartości spływu powierzchniowego i spłukiwania, które dalej przekształcają profil wypukło-wklęsły stoku odziedziczony wraz z pokrywami stokowymi po okresie morfogenezy peryglacialnej. Górna i środkowa część stoku jest obniżana, dolna zazwyczaj nadbudowywana łącznie z agradacyjnym podnoszeniem równin zalewowych (Starkel 2005). Tymczasem w młodej rzeźbie górskiej lub wyżynnej ekstremalne zdarzenia prowadzą równie często do rozczłonkowania stoków przez erozję liniową, procesy grawitacyjne lub sufozję (por. Starkel 1972a, b). Charakterystyczne jest współdziałanie ruchów masowych i erozji liniowej. Ulewa lub opad rozlewny prowadzi do zmiany kierunku modelowania stoku. Sprzyja temu obecność mięjszych pokryw stokowych w dolnych partiach stoku, podcinanych przez erozję wgłębną w górnych odcinkach dolin. Także cienkie pokrywy zwietrzelinowe usuwane przez spływy ziemne w czasie ulew pozostawiają po sobie rynny docięte do podłoża, które mogą być pogłębione dopiero po zwietrzeniu kolejnej warstwy skalnego podłoża (Starkel 1972a).

System korytowy różni się zasadniczo od stokowego tym, że dzięki wodzie płynącej stale (lub okresowo) rzeka dąży do dopasowania parametrów koryta do dominujących średnich przepływów rocznych lub maksymalnych. Każde wezbranie nadaje więc często nowe cechy korytu. W większych dolinach fałę wezbraniową kształtują zazwyczaj opady rozlewne, które zasilają zbiorniki wód śródpokrywowych – dostawa materiału z powierzchni stoków jest wówczas raczej ograniczona. Jedynie szereg kolejnych lat z wysokimi lub bardzo niskimi przepływami jest w stanie przekształcić parametry koryta i zmienić np. koryto meandrowe w roztokowe. Jediną barierą hamującą powrót do pierwotnej równowagi jest złożenie w korycie mięjszych osadów gruboziarnistych, np. spływów gruzowych, których rzeka nie jest w stanie uprzętać (Froehlich, Starkel 1987).

Obok cech autonomicznych obserwujemy współzależność i współdziałanie systemów stokowego i korytowego. Ma to miejsce w sytuacji nałożenia opadu ulewnego na długotrwały opad rozlewny. Przekroczone zostają wówczas wielkości progowe dla procesów zarówno stokowych, jak i korytowych, równocześnie materiał zniesiony ze stoków wędruje z biegiem rzek (Starkel 2006). Rzeka podmywa brzegi i uruchamia masy zalegające na zboczach.

Podsumowanie

Procesy stokowe i fluwialne związane z różnymi typami opadów ekstremalnych są głównym motorem współczesnych przekształceń rzeźby. Przekroczenie wartości progowych różnych procesów związane jest

ściśle z litologią pokryw, które określają rozdział wody opadowej na spływ powierzchniowy, spływ śródpokrywowy i głębszy gruntowy. Możliwości uruchomienia pokryw i wielkości ich przemieszczeń wiążą się z użytkowaniem ziemi.

Częstotliwość zjawisk ekstremalnych jest różna dla poszczególnych stref klimatycznych, ale zależy również od warunków lokalnych. Skala zmian potęguje się, a nowo powstałe formy są utrwalane, gdy następuje zgrupowanie ekstremalnych opadów w krótkim czasie (w odstępie miesięcy lub co najwyżej 1–3 lat). Zależnie od typu opadu (natężenia, wysokości) reaguje głównie albo system stokowy, albo system fluwialny. Największe zmiany w rzeźbie występują, gdy na opad rozlewny nakładają się ulewy o dużym natężeniu; wówczas stoki i koryta reagują równocześnie.

Dogłębne rozpoznanie mechanizmów procesów przekształcających stoki i koryta rzek możliwe jest poprzez pełny monitoring obiegu wody i transportu rumowiska prowadzony równoległe w przekrojach pomiarowych i w skali przestrzennej.

Literatura

- Burkham D.E. 1972. Channel changes of the Gila River in Safford Valley, Arizona, 1846–1970, Geol. Survey Water-Supply Papers (US) 655-G: 1–24.
- Baker V.R., Kochel R.C., Patton P.C. (red.) 1988. Flood geomorphology, J. Wiley, Chichester.
- Froehlich W., 1975. Dynamika transportu fluwialnego Kamienicy Nawojowskiej. Prace Geogr. IGiPZ PAN, 114: 1–122.
- Froehlich W. 1998. Transport rumowiska i erozja potoków beskidzkich podczas powodzi w lipcu 1997 roku. [W:] Powódź w dorzeczu górnej Wisły w lipcu 1997 r. Konferencja Naukowa, Kraków 7–9 maja 1998, s. 133–144.
- Froehlich W. 2006. Efektywność geomorfologiczna i wartości progowe procesów hydrogeomorfologicznych w beskidzkim systemie fluwialnym. Materiały konferencji, „Funkcjonowanie geoekosystemów zlewni rzecznych. Procesy ekstremalne w środowisku geograficznym”, Kołobrzeg, s. 29–33.
- Froehlich W., Starkel L. 1987. Normal and extreme monsoon rains – their role in the shaping of the Darjeeling Himalaya. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 21: 129–160.
- Froehlich W., Starkel L. 1995. The response of slope and channel systems to various types of extreme rainfall: A comparison between the temperate zone and humid tropics. *Geomorphology*, 11, 337–345.
- Gerlach T. 1976. Współczesny rozwój stoków w polskich Karpatach Fliszowych. Prace Geograficzne IGiPZ PAN, 122, Warszawa.

- Gil E. 1976. Spłukiwanie gleby na stokach fliszowych w rejonie Szymbarku. Dokumentacja Geograficzna IG PAN, 2.
- Gil E., Kotarba A. 1977. Model of slide slope evolution in flysch mountains (an example drawn from the Polish Carpathians). *Catena*, 4, 3: 233–248.
- Gil E., Starkel L. 1979. Long-term extreme rainfalls and their role in the modeling of flysch slopes. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 13: 207–220.
- Gorczyca E. 2004. Przekształcanie stoków fliszowych przez procesy masowe podczas katastrofalnych opadów (dorzecze Łososiny). Wyd. Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Kale V.S. 1998. Monsoon floods in India: a hydro-geomorphic perspective. *Memoir Geological Society India, Bangalore*, 41: 229–256.
- Kotarba A. 1986. Rola osuwisk w modelowaniu rzeźby beskidzkiej i pogórskiej. *Przegląd Geograficzny*, t. LVIII, z. 1–2: 119–129.
- Kotarba A. 1994. Geomorfologiczne skutki katastrofalnych letnich ulew w Tatrach Wysokich. *Acta Univ. N. Copernici, Geografia 27, Nauki Mat.-Przyr.* 92: 21–34.
- Kotarba A. 1998. Morfogenetyczna rola opadów deszczowych w modelowaniu rzeźby Tatr podczas letniej powodzi w roku 1997. [W:] *Z badań fizycznogeograficznych w Tatrach III. Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN*, 12, s. 9–23.
- Rodzick J., Janicki G., Zagórski P., Zgłobicki W. 1998. Deszcze nawalne na Wyżynie Lubelskiej i ich wpływ na rzeźbę obszarów lessowych. *Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN*, 11, s. 45–68.
- Rączkowski W., Mrozek T. 2002. Activating of landsliding in the Polish Flysch Carpathians by the end of 20-th century. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 36: 91–101.
- Schumm S., 1977. *The fluvial system*. Wiley – Interscience Publ., New York.
- Selby M.J. 1974. Dominant geomorphic events in landform evolution. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 9: 85–89.
- Słupik J. 1981. Rola stoku w kształtowaniu odpływu w Karpatach fliszowych. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN*, 142, s. 1–89.
- Soja R., Starkel L. 2007. Extreme rainfalls in Eastern Himalaya and southern slope of Meghalaya Plateau and their geomorphological impacts. *Geomorphology*, 84: 170–180.
- Starkel L. 1960. Rozwój rzeźby Karpat fliszowych w holocenie. *Prace Geograficzne IG PAN*, 22.
- Starkel L. 1972a. The role of catastrophic rainfall in the shaping of the relief of the Himalaya (Darjeeling Hills). *Geographia Polonica*, 21: 103–160.
- Starkel L. 1972b. Charakterystyka rzeźby Polskich Karpat i jej znaczenie dla gospodarki ludzkiej. *Probl. Zagospod. Ziem Górskich*, 10: 75–150.
- Starkel L. 1976. The role of extreme (catastrophic) meteorological events in contemporary evolution of slopes. [W:] E. Derbyshire (red.), *Geomorphology and Climate*. Wiley, Chichester, s. 203–246.
- Starkel L. 1979. On some questions of the contemporary modelling of slopes and valley bottoms in the flysch Carpathians. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 13: 191–206.
- Starkel L. 1986. Rola zjawisk ekstremalnych i procesów sekularnych w erozji gleby (na przykładzie fliszowych Karpat). *Czasopismo Geograficzne*, 57, 2: 203–213.
- Starkel L. 1996. Geomorphic role of extreme rainfalls in the Polish Carpathians. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 30: 21–38.
- Starkel L. 2005. Współczesna rzeźba Polski dziedziczy cechy peryglacjalne. *Przegląd Geograficzny*, 77: 5–13.
- Starkel L. 2006. Geomorphic hazards in the Polish Flysch Carpathians. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 40: 7–19.
- Starkel L. (red.) 1997. Rola gwałtownych ulew w ewolucji rzeźby Wyżyny Miechowskiej (na przykładzie ulewy w dniu 15 września 1995). *Dokumentacja Geograficzna IG i PZ PAN*, 8.
- Starkel L., Basu S. (red.) 2000. Rains, landslides and floods in the Darjeeling Himalaya. *Indian National Science Academy, New Delhi*.
- Starkel L., Sarkar S. 2002. Different frequency of threshold rainfalls transforming the margin of Sikkimese and Bhutanese Himalaya. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 36: 51–67.
- Starkel L., Singh S. (red.) 2004. Rainfall, runoff and soil erosion in the globally extreme humid area, Cherrapunji region, India. *Prace Geograficzne*, 191, Warszawa.
- Woo M.K. 1986. Permafrost hydrology in North America. *Atmosphere – Ocean*, 24, 3: 201–234.
- Ziętara T., 1968. Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby Beskidów. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN*, 60.