

Zakład Geografii Fizycznej i Zakład Hydrografii  
Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi UMCS w Lublinie

Henryk MARUSZCZAK, Zdzisław MICHALCZYK,  
Jan RODZIK

### Warunki geomorfologiczne i hydrogeologiczne rozwoju denudacji w dorzeczu Grodarza na Wyżynie Lubelskiej

Геоморфологические и гидрогеологические условия развития денудации  
в бассейне реки Гродаж на Люблинской возвышенности

Geomorphologic and Hydrogeologic Conditions for Denudation  
Development in the Grodarz Drainage Basin, Lublin Upland

Grodarz należy do najmniejszych, wyzynnych dopływów bezpośrednich przełomowego odcinka Wisły środkowej. Odprowadza wodę wprawdzie z obszaru małego, ale wyróżniającego się wyjątkowym zróżnicowaniem fizjograficznym. Ta cecha dorzecza oraz jego położenie w strefie silnego oddziaływania Wisły skłoniły nas do podjęcia szczegółowych badań nad warunkami rozwoju denudacji wodnej. Mieliśmy przy tym na uwadze nie tylko momenty teoretyczno-poznawcze, ale także i praktyczne — istotne z punktu widzenia rolniczego, urbanistycznego oraz ochrony i kształtowania krajobrazu. Duża część omawianego dorzecza należy do formalnie wyodrębnionego w 1979 r. Kazimierskiego Parku Krajobrazowego, a pozostała wchodzi w skład strefy osłony tego Parku. Najosobliwsza część dorzecza należy do zasięgu miejsko-rekreacyjnej zabudowy Kazimierza Dolnego. W życiu zaś tego miasta, położonego nad Wisłą przy ujściu Grodarza, ważną rolę odgrywają nie tylko wielkie powodzie wiślane, ale również epizodycznie występujące katastrofalne spustoszenia, powodowane przez silną erozję i akumulację tej małej rzeczki podczas opadów nawalnych.

Materiał podstawowy dla opracowania zgromadzono w trakcie prac objętych planem resortowym Ministerstwa Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki z lat 1976—1980, w zakresie problemu II-5 „Erozja gleb i jej

zapobieganie w wybranych regionach kraju". Do podjęcia tych prac zaprosił nas prof. Stefan Ziemnicki, wybitny znawca zagadnień erozji gleb (zmarły w 1979 r.), koordynator wymienionego problemu. Jego pamięci poświęcamy niniejszą rozprawę.

#### OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA BADANEGO DORZECZA

Źródła Grodarza znajdują się obecnie na wysokości 186 m we wsi Uściąż, a ujście do Wisły na wysokości 118 m n.p.m. w Kazimierzu. Odległość między tymi punktami — liczona wzdłuż osi doliny — wynosi zaledwie 9 km, a więc spadek podłużny dna jest bardzo duży w skali obszarów wyżynnych. Wiąże się to z niskim położeniem lokalnej bazy erozyjnej, którą stanowi dno głęboko wciętego, przełomowego odcinka Wisły (ryc. 1).

Dorzecze Grodarza (29,3 km<sup>2</sup>) położone jest na pograniczu Płaskowyżu Bełżyckiego i Płaskowyżu Nałęczowskiego, w NW narożu Wyżyny Lubelskiej. Należy ono do nadwiślańskiej dzielnicy klimatycznej, wyróżniającej się w skali regionu lubelskiego najłagodniejszym klimatem. Temperatury średnie roczne na poziomie rzeczywistym wahają się tutaj około 7,5°C, przy skrajnych miesięcznych od -3,5° do 18,5°C. Opady średnie roczne 550—600 mm wykazują dość wyraźne zróżnicowanie w zależności od wysokości n.p.m. (różnica wysokości między dnem doliny Wisły i wierzchołową w badanym dorzeczu wynosi 110 m). Dzielnica nadwiślańska wyróżnia się w regionie lubelskim najkrócej trwającą zimą (92—94 dni oraz najdłuższym latem (103—105 dni). Okres wegetacyjny jest więc stosunkowo długotrwały (ponad 210 dni); prace polowe rozpoczyna się zwykle w trzeciej dekadzie marca. Cechy odrębności klimatycznej nie rysują się jednak ostro i dlatego można przyjąć, że potencjalne warunki klimatyczne rozwoju denudacji czy erozji gleb są podobne jak w innych regionach Wyżyny Lubelskiej.

Z hydrograficznego punktu widzenia bardzo istotny jest podział doliny Grodarza na odcinki odwadniane przez dwa wyraźnie rozdzielone cieki, łączące się tylko epizodycznie, raz na kilka lat podczas gwałtowniejszych i obfitych roztopów zimowo-wiosennych lub letnich opadów nawałnych. Ciek górny — w dalszym ciągu określane jako Potok Uściąski — ze stałym odpływem powierzchniowym od źródeł w Uściążu do wsi Rzczyca ma długość zmieniającą się w granicach 2,5—3,0 km, w zależności od przebiegu opadów i stanu wód podziemnych. Źródła w Uściążu są dość obfite, a poniżej nich potok zasilany jest przez wysięki gruntowe; największe przepływy wykazuje między Uściążem i Kol. Uściąż. Od tej Kolonii przepływ powierzchniowy dość gwałtownie zmniejsza się, co stanowi

# DORZECZE GRODARZA



Ryc. 1. Mapa hipsometryczna dorzecza Grodarza  
Hypsometric map of the Grodarz drainage basin

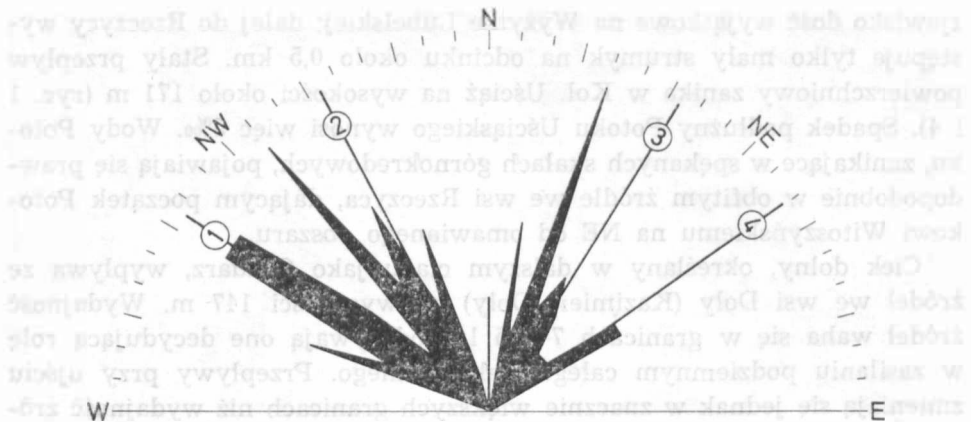
zjawisko dość wyjątkowe na Wyżynie Lubelskiej; dalej do Rzeczyca występuje tylko mały strumyk na odcinku około 0,5 km. Stały przepływ powierzchniowy zanika w Kol. Uściąż na wysokości około 171 m (ryc. 1 i 4). Spadek podłużny Potoku Uściąskiego wynosi więc 5‰. Wody Potoku, zanikające w spękanych skałach górnokredowych, pojawiają się prawdopodobnie w obfitym źródle we wsi Rzeczyca, dającym początek Potokowi Witoszyńskiemu na NE od omawianego obszaru.

Ciek dolny, określane w dalszym ciągu jako Grodarz, wypływa ze źródeł we wsi Doły (Kazimierz-Doły) na wysokości 147 m. Wydajność źródeł waha się w granicach 7—25 l/s; odgrywają one decydującą rolę w zasilaniu podziemnym całego cieku dolnego. Przepływy przy ujściu zmieniają się jednak w znacznie większych granicach niż wydajność źródeł, ze względu na gwałtowne zmiany zasilania powierzchniowego, związane z silnym urzeźbieniem dolnej części dorzecza. Ogólna długość cieku dolnego wynosi 3,1 km, a jego ujście znajduje się na wysokości 118 m, tzn. że spadek podłużny wynosi prawie 10‰, a więc jest dwukrotnie większy niż w Potoku Uściąskim. Między dwoma ciekami dolina Grodarza na odcinku 3,7 km jest zwykle sucha. Powyżej cieku górnego w Uściążu rozciąga się także sucha dolina o długości 4,0 km, aż do miejscowości Jaworze. Łączna długość całej doliny od Jaworze do Kazimierza wynosi więc 13,0 km, z czego więcej niż połowa, a mianowicie 7,2 km, jest bez stałego cieku.

Dolina i całe dorzecze Grodarza ma bardzo zróżnicowaną rzeźbę — większa część górna należy do Płaskowyżu Bełżyckiego, a mniejsza dolna do Płaskowyżu Nałęczowskiego. Rozdziela je strefa wyraźnej krawędzi o wysokości rzędu 10 m, utworzonej przez młodą pokrywę lessową nałożoną na starsze zrównania wierzchowinowe wznoszące się w dorzeczu do 170—210 m n.p.m. (ryc. 1 i 2).

Część górna obejmuje 18,3 km<sup>2</sup> i chociaż deniwelacja między jej punktami skrajnymi (228 i 150 m) jest znaczna, wyróżnia się słabym urzeźbieniem. Dolina główna ma długie i łagodnie zarysowane zbocza, słabo wyodrębniające się z falistej równiny wierzchowinowej. Średnie nachylenia powierzchni nie przekraczają 2—3°, a wysokości względne na powierzchni 1 km<sup>2</sup> są rzędu 10 m; tylko w obrębie niewielkich fragmentów na NW i SE, w okolicy Cholewianki i Jaworze, wysokości względne wzrastają do 20—30 m.

Część dolna o powierzchni 11,0 km<sup>2</sup>, wyżej wzniesiona ze względu na „nadbudowę” w postaci młodej pokrywy lessowej, wyróżnia się znacznie silniejszym urzeźbieniem; deniwelacja między punktami skrajnymi (218 i 118 m) wynosi 100 m. Dolina główna jest tutaj głęboko wcięta i ostro wyodrębnia się stromymi zboczami, których nachylenia miejscami w Kazimierzu przekraczają 30°. Niskie położenie bazy erozyjnej oraz występo-



Ryc. 2. Diagram kierunków spękań skał górnokredowych w kamieniołomie Kazimierz—Męcierz oraz odpowiadających im liniowych form rzeźby (oprac. Maruszczak 1975); 1 — kierunek zachodniego odcinka krawędzi dzielącej Płaskowyż Bełżycki i Kotlinę Chodelską; 2 — kierunek zachodniego brzegu doliny Wisły między Nasilowem i Górą Puławską; 3 — kierunek górnego odcinka doliny Grodarza w Uściążu; 4 — kierunek prawego brzegu przełomowej doliny Wisły między Podgórzem a Bochoćnicą

Diagram of fissure directions of the Upper Cretaceous rocks in the Kazimierz—Męcierz quarry and of the corresponding relief forms features (prepared by H. Maruszczak 1975); 1 — direction of the western part of the edge that separates the Bełżyce Plateau and the Chodel Basin, 2 — direction of the western border of the Vistula valley from Nasilów to Góra Puławska, 3 — direction of the upstream Grodarz valley at Uściąg, 4 — direction of the right bank of the Vistula gorge from Podgórze to Bochoćnica

wanie grubej pokrywy lessów wrażliwych na działanie wody sprzyjały silnemu rozcięciu i powstaniu gęstej sieci suchych dolin erozyjno-denudacyjnych i wąwozów. Średnie nachylenia w tej części dorzecza są rzędu  $4-8^{\circ}$ , a nawet większe, a wysokości względne na powierzchni  $1 \text{ km}^2$  dochodzą do 80 m.

#### WARUNKI GEOLOGICZNO-MORFOLOGICZNE

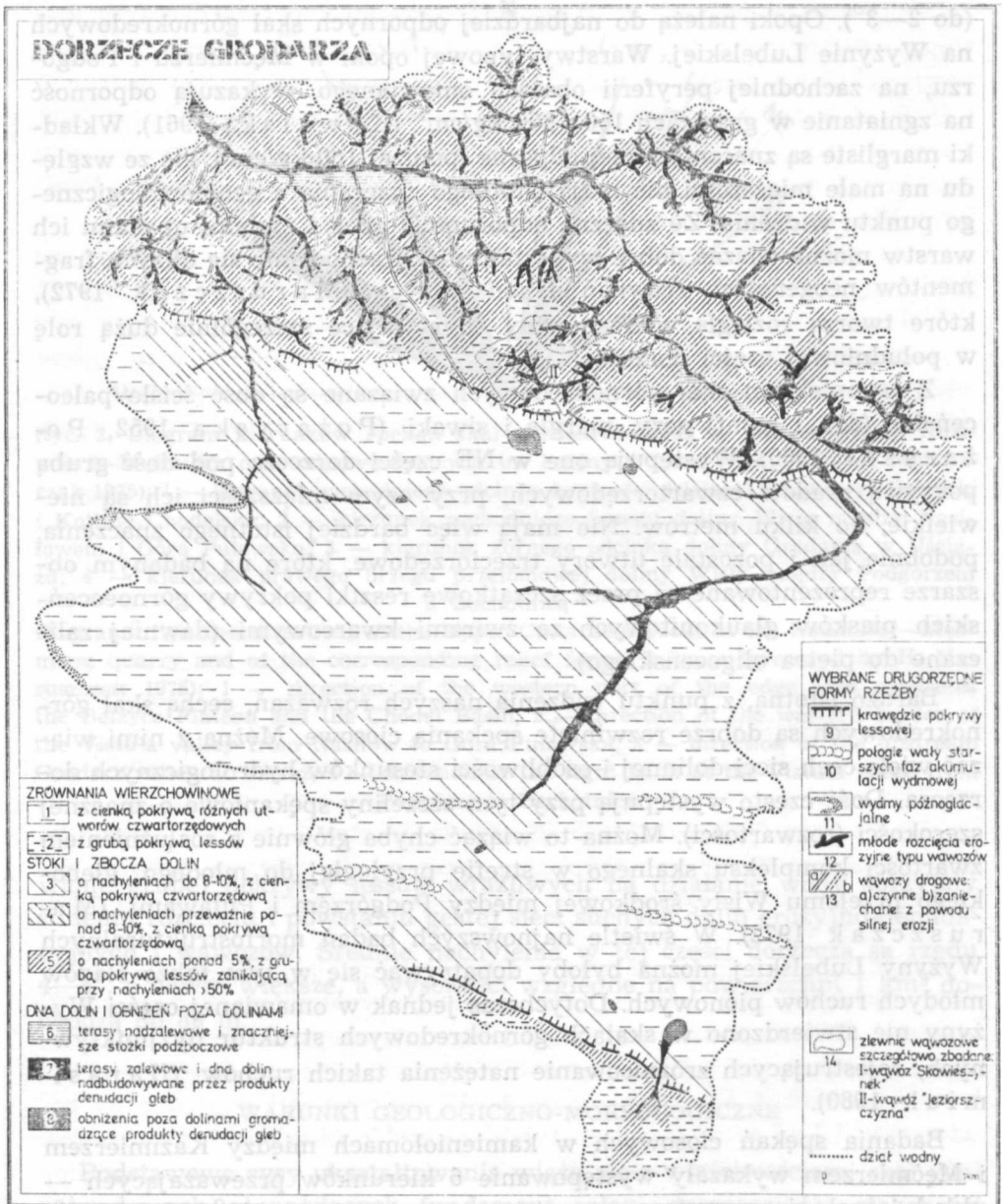
Podstawowe rysy ukształtowania wiążą się z właściwościami skał górnokredowych, stanowiących fundament całego dorzecza. Do głębokości rzędu kilkuset metrów są to warstwy zaliczane do mastrychtu górnego, wśród których przeważają opoki, opoki margliste i margle oraz opoki z przewarstwieniami miękkich margli, przechodzących miejscami w wapienie typu kredy piszącej (P o z a r y s k i 1938, 1956, 1960). Do głębokości rzędu kilkudziesięciu metrów dominują opoki z wkładkami miękkich margli, układające się w warstwy o upadach przeważnie małych

(do 2—3°). Opoki należą do najbardziej odpornych skał górnokredowych na Wyżynie Lubelskiej. Warstwy typowej opoki w Męcmierzu i Podgórzu, na zachodniej peryferii obszaru omawianego, wykazują odporność na zgniatanie w granicach 150—300 kg/cm<sup>2</sup> (K o w a l s k i 1961). Wkładki margliste są znacznie mniej odporne (poniżej 100 kg/cm<sup>2</sup>), ale ze względu na małe miąższości nie mają istotnego znaczenia z geomorfologicznego punktu widzenia. Ze znaczną odpornością opok i małymi upadami ich warstw można wiązać dobre wykształcenie i zachowanie się dużych fragmentów neogeńskich zrównań denudacyjnych (M a r u s z c z a k 1972), które tworzą rozległe wierzchowiny odgrywające szczególnie dużą rolę w południowej części dorzecza.

Z kompleksem skał górnokredowych związane są dość ściśle paleoceńskie (dan i mont) gezy, margle i siwaki (P o ż a r y s k a 1952, P o ż a r y s k i 1960). Występują one w NE części dorzecza pod dość grubą pokrywą osadów czwartorzędowych, przy czym miąższości ich są niewielkie, do kilku metrów. Nie mają więc bardziej istotnego znaczenia, podobnie jak i pozostałe utwory trzeciorzędowe, które na badanym obszarze reprezentowane są przez szczątkowe resztki pokrywy górnocieńskich piasków glaukonitowych ze żwirami kwarcowymi (dawniej zaliczane do piętra oligoceńskiego).

Bardzo istotną, z punktu widzenia naszych rozważań, cechą skał górnokredowych są dobrze rozwinięte spękania ciosowe. Można z nimi wiązać wiele cech sieci dolinnej i osobliwości stosunków hydrologicznych dorzecza. Dość często występują przy tym szczeliny spękania o znacznej szerokości (rozwartości). Można to wiązać chyba głównie z rozluźnieniem zwartości kompleksu skalnego w strefie przyległej do młodego, głębokiego przełomu Wisły środkowej między Podgórzem i Puławami (M a r u s z c z a k 1972). W świetle najnowszych badań morfostrukturalnych Wyżyny Lubelskiej można byłoby dopatrywać się w tym także śladów młodych ruchów pionowych. Dotychczas jednak w omawianej części Wyżyny nie stwierdzono w skałach górnokredowych struktur dyzjunktywnych, rejestrujących zróżnicowanie natężenia takich ruchów (H a r a s i m i u k 1980).

Badania spękań ciosowych w kamieniołomach między Kazimierzem i Męcmierzem wykazały występowanie 6 kierunków przeważających — układających się w systemy sprzężone — o azymutach: 30° i 300—305°; 55—60° i 320—330°; 20° i 290° (ryc. 2). Spękaniami o kierunku 30° (NNE—NE) — często z wyraźnie rozwartymi szczelinami — odpowiada układ górnego odcinka doliny głównej w Uściążu, w przedłużeniu którego poza działem wodnym na południu rozciąga się jedna z dużych dolin suchych w Rogowie (ryc. 1); na wschód od omawianego obszaru kierunek ten odgrywa znaczną rolę w górnych odcinkach dolin lewego



Ryc. 3. Szkic geomorfologiczny dorzecza Grodarza (oprac. Maruszczak 1980)

Geomorphologic sketch of the Grodarz drainage basin (prepared by Maruszczak 1980). Plateau planation surfaces: 1 — with thin mantle of various Quaternary deposits, 2 — with thick loess mantle. Valley slopes: 3 — inclination to 8—10% with thin Quaternary mantle, 4 — inclination commonly over 8—10% with thin Quaternary mantle, 5 — inclination over 5% with thick loess cover, disappearing when inclination is over 50%. Valley and depression floors; 6 — supra-inundation

skrzydła dorzecza Bystrej. Sprzężonemu z nim kierunkowi  $300-305^\circ$  (NW—WNW) odpowiada wyższa część środkowego, „suchego” odcinka doliny w Wylągach oraz zachodni odcinek kuestowej krawędzi dzielącej Płaskowyż Bełżycki i Kotlinę Chodelską między Karczmiskami i Dobrem, tuż na S od omawianego dorzecza. Spękaniom o kierunku  $55-60^\circ$  (NE—ENE) odpowiada układ kilku znaczniejszych dolin erozyjno-denu-dacyjnych w Wylągach, a przede wszystkim kazimierski odcinek przełomu Wisły między Podgórzem i Bochatnicą. Sprzężonemu z nim kierun-kowi  $320-330^\circ$  (NW—NNW) odpowiada niższa część środkowego odcinka doliny głównej między Wylągami i Dołami oraz odcinek przełomu Wisły między Parchatką i Puławami (kierunek wyraźnie zarysowany na zachodnim brzegu doliny między Nasiłowem i Górą Puławską). Ostat-niemu z ustalonych kierunków, tzn.  $20^\circ$  (N—NNE), odpowiada dolny odcinek dużej doliny w miejscowości Kazimierz-Czerniawy. W sąsiedz-twie omawianego dorzecza nie ma znaczniejszych form, które odpowia-dałyby temu kierunkowi morfologicznemu (dlatego nie wyodrębniono go na ryc. 2). Sprzężonemu z nim kierunkowi  $290^\circ$  — zarejestrowanemu przez niezbyt liczne, ale wyraźne spękania ze zwartymi przeważnie szczeli-nami — odpowiada ujściowy odcinek doliny Grodarza w Kazimierzu.

Górnokredowo-paleoceński fundament skalny przykryty jest dość szczelnie utworami czwartorzędowymi. Tylko miejscami są one zdenu-dowane tak, że odsłaniają się zwietrzliny i rumosze opok oraz margli — głównie na stromych odcinkach zboczy doliny Grodarza między Wylą-gami i Kazimierzem oraz w głębszych wąwozach. Wśród utworów czwar-torzędowych przeważają fluwioglacjalne piaski ze żwirami i glacialne gliny zwałowe z okresu zlodowacenia środkowopolskiego oraz eoliczne lessy z okresu zlodowacenia północnopolskiego.

Mięszość utworów czwartorzędowych jest bardzo zróżnicowana (od 0 do około 40 m). Odpowiednio do tego różny był ich wpływ na rozwój rzeźby, a więc także i procesów denudacyjnych. Z tego punktu widzenia dorzecze dzieli się na dwie dość zasadniczo różniące się części: 1) połud-niową — charakteryzującą się małą mięszością różnych utworów czwar-torzędowych oraz 2) północną — z mięszą pokrywą zbudowaną głównie z lessów. Dzieli je wyraźna krawędź pokrywy lessowej (ryc. 3).

terraces and larger taluses, 7 — flood plains and valley floors covered by products of soil denudation, 8 — depression outside the valleys with products of soil denudation. Selected secondary morphologic features: 9 — edges of the loess cover, 10 — gentle ridges of older (Plenioglacial) phases of aeolian sands deposition, 11 — Late Glacial dunes, 12 — recent ravine-like erosive incisions, 13 — road ravines: a) active, b — abandoned due to intensive erosion. Ravine catchment studied in detail: 14 — "Skowieszyniek" ravine (I) and "Jeziorszczyzna" ravine (II), 15 watershed



W części południowej miąższość utworów czwartorzędowych poza dnami dolin rzadko przekracza kilka metrów i raczej wyjątkowo sięga do kilkunastu metrów. Po zachodniej i północno-zachodniej stronie Potoku Uściąskiego w górnych, przypowierzchniowych warstwach przeważają piaszczysto-gliniaste utwory glacialne; tylko w południkowej dolinie Czerniaw znaczną rolę odgrywają piaszczysto-żwirowe osady fluwio-glacialne. Oprócz nich należy jeszcze wymienić występujące tutaj fragmentarycznie, na zachodnim odcinku działu wodnego, luźne piaski budujące wydmy późnoglacialne. Na południe od źródłiskowego odcinka Potoku Uściąskiego oraz po południowo-wschodniej stronie Potoku przeważają piaszczysto-żwirowe utwory glacialne, które na znacznych powierzchniach przykrywają mało miąższe, piaszczyste i piaszczysto-pylaste osady deluwialne oraz eoliczne. Te ostatnie budują połogie wały starszych faz (zapewne pleniglacialnych) akumulacji wydmowej; ponieważ budują je utwory piaszczysto-pylaste, są one znacznie mniej wrażliwe na denudację eoliczną niż typowe, piaszczyste wydmy późnoglacialne.

W części południowej dominują więc wśród czwartorzędowych utworów mało wrażliwe na denudację wodną (spłukiwanie). Ze względu na małą miąższość pokrywy czwartorzędowej dzisiejsza rzeźba w małym stopniu różni się od charakteryzującej fundament zbudowany ze skał górnokredowych. W krajobrazie panują więc rozległe, monotonne powierzchnie wierzchowinowe (ryc. 3), nie sprzyjające rozwojowi denudacji mechanicznej (szczególnie spłukiwania). Spośród małych, naturalnych form urozmaicających tylko wydmy wiążą się ściśle z obecnością i właściwościami utworów czwartorzędowych. W części południowej dorzecza tylko niewielki, peryferyjny obszar położony na skrajnym południu nie mieści się w tak naszkicowanych ramach. Miąższość pokrywy czwartorzędowej jest bowiem większa ze względu na występowanie lessów o miąższości rzędu 10—15 m; obecność lessów decyduje o występowaniu cech charakteryzujących część północną dorzecza Grodarza.

W części północnej miąższość pokrywy czwartorzędowej z reguły przekracza kilkanaście metrów, przy czym w przeważającej części stanowią ją eoliczne, typowe lessy. Miąższość lessów, łącznie z lessopodobnymi utworami deluwialnymi czy też innego pochodzenia, wykazującymi właściwości podobne z omawianego punktu widzenia, w skrajnych przypadkach sięga nawet do 30 m (Malinowski 1959, Harasimiuk i Henkiel 1976). Utworów tych brak tylko na dnie doliny głównej i na bardziej stromych odcinkach jej zboczy oraz w obrębie rozleglejszych i głębszych wąwozów. Akumulacja tak miąższej pokrywy lessowej nie spowodowała jednak istotniejszych zmian w układzie zasadniczych form rzeźby, z wyjątkiem nadbudowania („podniesienia”) powierzchni zrównań wierzchowinowych. Zrównania te, w odróżnieniu od

części południowej dorzecza, w krajobrazie odgrywają jednak podrzędną rolę. Bezpośrednie sąsiedztwo bazy erozyjnej nisko położonej na dnie doliny Wisły decydowało o tym, że od dawna podłoże skalne było silnie rozcięte przez głęboką dolinę Grodarza oraz liczne doliny boczne. Dlatego też dominują tutaj stoki i zbocza dolin o nachyleniach przekraczających 5—10%, a miejscami nawet ponad 50% (ryc. 3). Taka rzeźba oraz występowanie lessów bardzo wrażliwych na działanie mechaniczne (splukiwanie, żłobienie, soliflukcja, deflacja) predysponuje rozwój intensywnej denudacji. Świadczy o tym jednoznacznie gęsta sieć starszych dolin erozyjno-denudacyjnych, młodych rozcięć erozyjnych typu wąwozów aktualnie żywo rozwijających się oraz licznych wcięć drogowych (wąwozów drogowych).

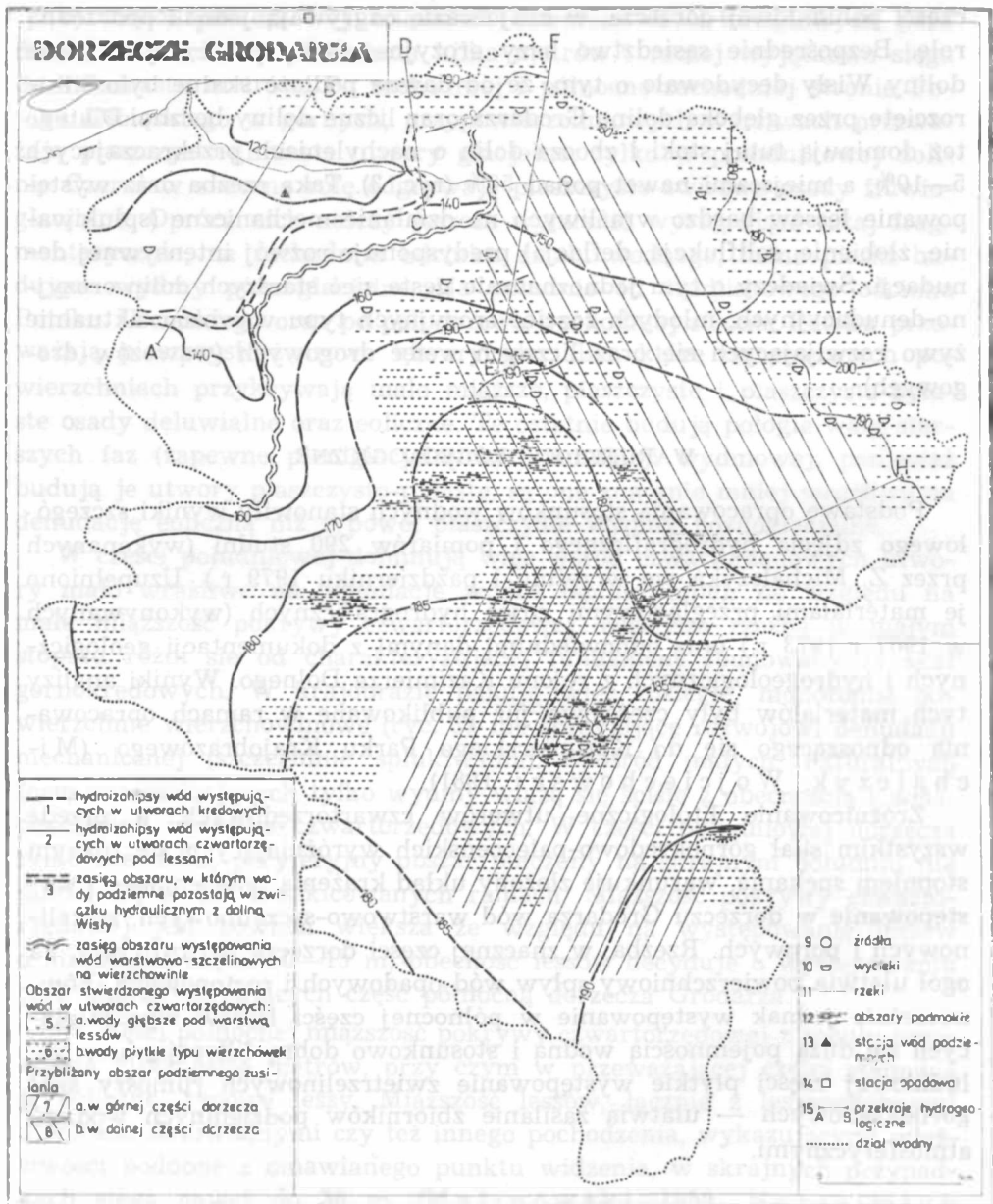
#### WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Podstawę opracowania stosunków wodnych stanowiły wyniki szczegółowego zdjęcia hydrograficznego i pomiarów 290 studni (wykonanych przez Z. Michalczyka we wrześniu i październiku 1979 r.). Uzupełniono je materiałami przeglądowymi zdjęć hydrograficznych (wykonywanych w 1967 i 1973 r.) oraz odpowiednimi danymi z dokumentacji geologicznych i hydrogeologicznych z rejonu Kazimierza Dolnego. Wyniki analizy tych materiałów były częściowo już publikowane w ramach opracowania odnoszącego się do Kazimierskiego Parku Krajobrazowego (Michalczyk, Wojciechowski 1981).

Zróznicowanie litologiczne utworów czwartorzędowych, a przede wszystkim skał górnokredowo-paleoceńskich wyróżniających się różnym stopniem spękania, warunkuje złożony układ krążenia podziemnego i występowanie w dorzeczu Grodarza wód warstwowo-szczelinowych, szczelinowych i porowych. Rzeźba, w znacznej części dorzecza bardzo żywa, na ogół ułatwia powierzchniowy spływ wód opadowych i roztopowych. Równocześnie jednak występowanie w północnej części lessów wyróżniających się dużą pojemnością wodną i stosunkowo dobrą filtracją, a w południowej części płytkie występowanie zwietrzelinowych rumoszy skał górnokredowych — ułatwia zasilanie zbiorników podziemnych wodami atmosferycznymi.

#### WODY W SKALACH GÓRNOKREDOWYCH

Dorzecze Grodarza można podzielić z tego punktu widzenia na trzy nierówne części (ryc. 4): 1) dolną część północno-zachodnią, w której wody podziemne pozostają w łączności hydraulicznej z Wisłą; 2) wąską strefę przejściową występowania wód szczelinowych; 3) najrozleglejszą część środkową i górną występowania wód warstwowo-szczelinowych.



Ryc. 4. Szkic hydrogeologiczny dorzecza Grodarza (oprac. Michalczyk 1980)

Hydrogeologic sketch of the Grodarz drainage basin (prepared by Michalczyk 1980); 1 — hydroisohypses of the ground waters of the Upper Cretaceous rocks, 2 — hydroisohypses of the ground waters within the Quaternary series under the loess mantle, 3 — extent of the area with the ground waters of the Upper Cretaceous rocks in the hydraulic connection with the Vistula valley, 4 — extent of the area in which the fissure waters (to the north-west) and stratal-fissure waters (to the

W dolnej części dorzecza wodonoścem są opoki i margle górnokredowe. Zwierciadło wody podziemnej, występujące na wysokości około 120 m n.p.m., wykazuje małe nachylenie z biegiem Wisły. Przy niskich stanach wód rzecznych obniża się ono wyraźnie ku dolinie Wisły, a w czasie większych wezbrań spadek jego bywa odwrotny. Głębokość występowania tego zwierciadła wzrasta dość gwałtownie od kilku metrów przy ujściu Grodarza do 60 m na wierzcholinie. Amplituda wahań zwierciadła jest znaczna, uwarunkowana stanami wody w Wisle; w latach 1956—1980 skrajne stany w studniach różniły się ponad 4 m. Po długotrwałej suszy w sezonie letnio-jesiennym 1982 — wyjątkowej w skali kilkudziesięcioletniej — zwierciadło obniżyło się tak znacznie, że w niektórych studniach na wierzcholinie woda przejściowo zanikła. Zasoby wód podziemnych w tym obszarze są jednak duże i zwykle nie notuje się braków; z gospodarczego punktu widzenia poważniejsze utrudnienie mogą stanowić tylko znaczne głębokości studni. Ze względu na bezpośrednie zasilanie aluwiów doliny Wisły wodami skalnymi brak jest typowych źródeł; tylko w głębokich wąwozach występują nieliczne wycieki i wysięki. Grodarz w odcinku ujściowym płynie w głębokim, obudowanym korycie uszczelnionym materiałem ilastym, zawieszony do kilkunastu metrów ponad zwierciadłem podziemnym. Pomiary przepływów rzecznych wskazują, że powyżej odcinka obudowanego koryta następuje częściowa ucieczka wód powierzchniowych.

W wąskiej strefie przejściowej warstwę wodonośną stanowią silnie spękane opoki mastrychtu. Wody podziemne znajdują się tutaj na głębokościach 20—50 m i na różnych wysokościach bezwzględnych. Pozostają one w hydraulicznej równowadze drenowania — szczeliny skalne zbierają wody filtrujące z warstw nadległych i odprowadzają je do strefy pozostającej w zasięgu oddziaływania Wisły.

Środkowa i górna część dorzecza, dominująca powierzchniowo, potraktowana jest jako całość tylko z punktu widzenia ogólnego charakteru wód warstwowo-szczelinowych. Warunki ich krążenia są jednak bardzo zróżnicowane ze względu na przewarstwianie się lepiej uszczelnionych opok i częściowo pęczniejących margli mastrychtu, pochylenie warstw ku N oraz różny stopień zaangażowania tektonicznego. Cechy te

---

south-east) occur. Areas with ground waters noted within the Quaternary complex: 5 — deeper ground waters under a loess mantle, 6 — shallow waters. Approximate area of the underground feeding of the stream: 7 — in the upstream part of the drainage basin, 8 — in the downstream part of the drainage basin. Other symbols: 9 — springs, 10 — seepages, 11 — streams, 12 — wet zones, 13 — ground water observation station, 14 — precipitation measuring station, 15 — hydrogeologic sections, 16 — watershed

decydują m.in. o niezgodności podziemnych i powierzchniowych działów wodnych oraz o występowaniu drugorzędnych, lokalnych poziomów wód zawieszonych w skałach górnokredowych. Wzdłuż doliny Grodarza i Potoku Uściąskiego zwierciadło wody występuje na głębokości od kilku do kilkunastu metrów, a na pozostałych terenach miejscami nawet do 40—50 m. Wysokość jego w południowej części dorzecza wynosi 185—190 m, a w środkowym odcinku doliny głównej oraz w dolinie Czerniaw poniżej 150 m n.p.m. Generalnie jest ono pochylone ku N, ale na znacznym obszarze peryferii południowej kierunek nachylenia jest ku S, tzn. odpływ podziemny skierowany jest do zlewni sąsiedniej rzeki Chodelki. Spadek zwierciadła ku N decyduje o tym, że z peryferii północnej omawianego obszaru wody podziemne w skałach górnokredowych odpływają do zlewni Bystrej (ryc. 5, przekrój E—F), a z peryferii północno-wschodniej do zlewni Potoku Witoszyńskiego. Spadki zwierciadła są rzędu kilku promil, ale w pobliżu źródeł wzrastają do 20‰. W takich warunkach lokalnie może występować przerwanie ciągłości zwierciadła wodnego; układa się ono wówczas schodowato, odpowiednio do zróżnicowania litologicznego i urzeźbienia terenu. W niektórych studniach obserwuje się szczelinowe dopływy wód z różnych wysokości ponad zasadniczym zwierciadłem podziemnym. Decydujące znaczenie dla krążenia podziemnego mają przy tym strefy intensywnych spękań (nieciągłości tektonicznej?), a mianowicie: wzdłuż dużej doliny południkowej w Czerniawach, od doliny Potoku Uściąskiego w stronę NE do obfitych źródeł sąsiedniego Potoku Witoszyńskiego oraz z obniżenia powyżej źródeł Potoku Uściąskiego w kierunku SW do doliny wsi Rogów. Zasoby wód podziemnych w tych strefach są największe; ogólnie jednak są one mniejsze niż w dolnej części dorzecza, pozostającej w bezpośrednim zasięgu oddziaływania Wisły.

W zasięgu występowania wód warstwowo-szczelinowych występuje jedno źródło zasilane bezpośrednio ze skał górnokredowych, w miejscowości Kazimierz—Doły, dające początek potokowi Grodarz. Przeciętna jego wydajność wynosi do kilkunastu l/s. Drugie źródło zasilane bezpośrednio ze skał górnokredowych wypływa na dnie wąwozu uchodzącego do suchej doliny Czerniaw. Znajduje się ono właściwie już w zasięgu strefy przejściowej, z wodami szczelinowymi (ryc. 4). Wydajność tego źródła wynosi około 1 l/s; wody jego przepływają na odcinku kilkuset metrów i zanikają w rumowisku skał górnokredowych na dnie doliny Czerniaw. Trzecie, zarejestrowane na omawianym obszarze źródło w Uściążu, dające początek Potokowi Uściąskiemu, także ma wody pochodzące głównie ze skał górnokredowych, ale wypływają one poprzez pokrywę czwartorzędowych glin i piasków. Przeciętna wydajność tego źródła wynosi kilka l/s.

## WODY W UTWORACH CZWARTORZĘDOWYCH

Stwierdzono je w dwu odrębnych zbiornikach: 1) w północnej części dorzecza w utworach piaszczysto-gliniastych pod lessami oraz 2) w południowej części w piaszczystych pokrywach przypowierzchniowych (ryc. 4).

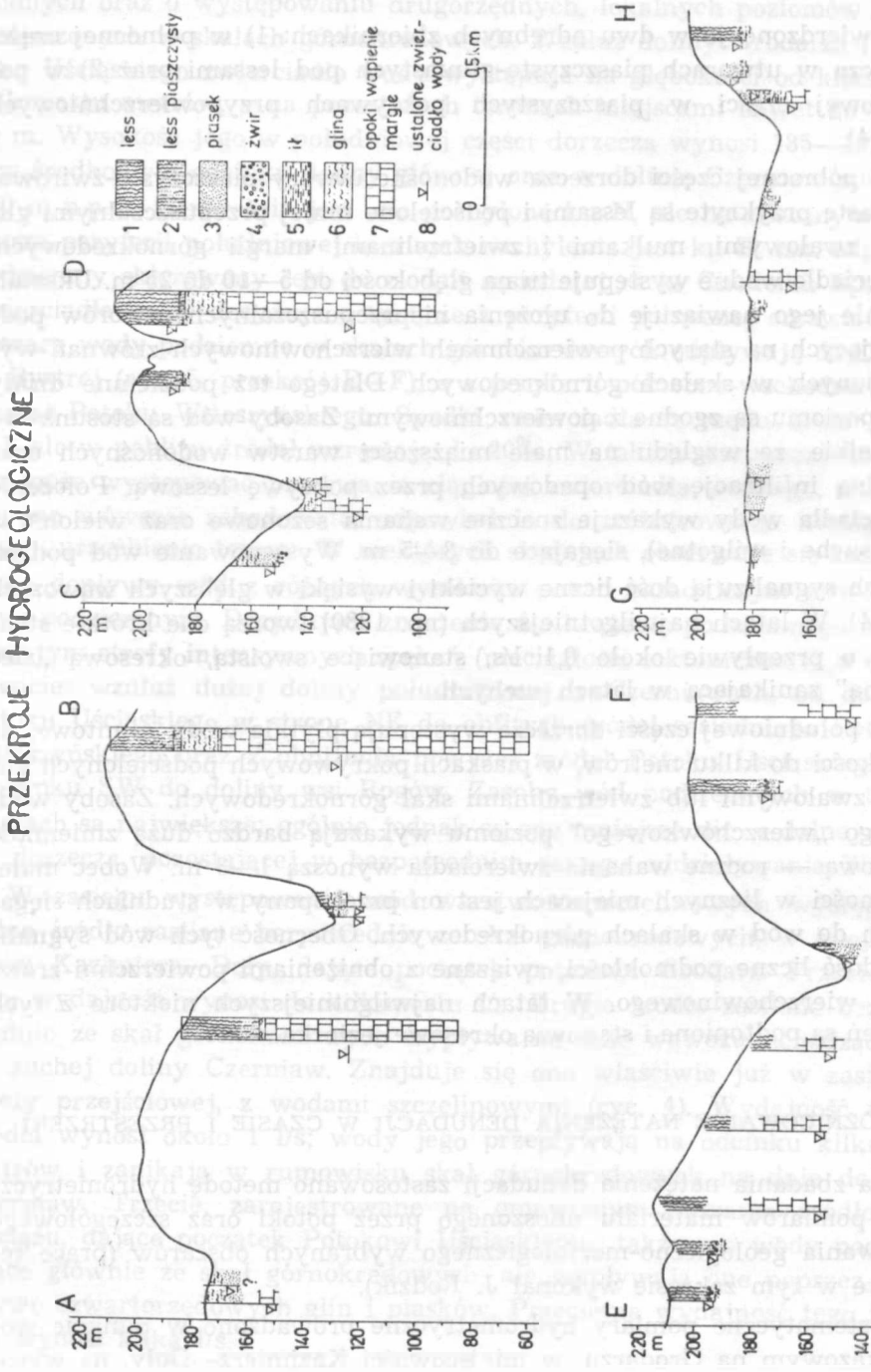
W północnej części dorzecza wodonośne utwory piaszczysto-żwirowo-gliniaste przykryte są lessami i podścielone mniej przepuszczalnymi glinami zwałowymi, mułkami i zwierzelinami margli górnokredowych. Zwierciadło wodne występuje tu na głębokości od 5—10 do 25 m. Ukształtowanie jego nawiązuje do ułożenia nieprzepuszczalnych utworów podścielających na starych powierzchniach wierzchwinowych zrównań wyrzeźbionych w skałach górnokredowych. Dlatego też podziemne działy tego poziomu są zgodne z powierzchniowymi. Zasoby wód są stosunkowo niewielkie, ze względu na małe miąższości warstw wodonośnych oraz powolną infiltrację wód opadowych przez pokrywę lessową. Położenie zwierciadła wody wykazuje znaczne wahania sezonowe oraz wieloletnie (lata suche i wilgotne), sięgające do 3—5 m. Występowanie wód podlesowych sygnalizują dość liczne wycieki i wysięki w głębszych wąwozach (ryc. 4). W latach najwilgotniejszych (np. 1980) tworzą one krótkie strumyki o przepływie około 0,1 l/s, stanowiące swoistą, okresową „sieć rzeczną” zanikającą w latach suchych.

W południowej części dorzecza występują płytkie wody gruntowe, na głębokości do kilku metrów, w piaskach pokrywowych podścielonych glinami zwałowymi lub zwierzelinami skał górnokredowych. Zasoby wodne tego „wierzchówkowego” poziomu wykazują bardzo dużą zmienność sezonową — roczne wahania zwierciadła wynoszą 1—3 m. Wobec małej zasobności w licznych miejscach jest on przekopany w studniach sięgających do wód w skałach górnokredowych. Obecność tych wód sygnalizują dość liczne podmokłości, związane z obniżeniami powierzchni zrównania wierzchwinowego. W latach najwilgotniejszych niektóre z tych obniżeń są podtopione i stanowią okresowe jeziorka.

## ZRÓŻNICOWANIE NATĘŻENIA DENUDACJI W CZASIE I PRZESTRZENI

Dla zbadania natężenia denudacji zastosowano metodę hydrometrycznych pomiarów materiału unoszonego przez potoki oraz szczegółowego kartowania geologiczno-morfologicznego wybranych obszarów (prace terenowe w tym zakresie wykonał J. Rodzik).

Systematyczne pomiary hydrometryczne prowadzono w punkcie wodowskazowym na Grodarzu, w miejscowości Kazimierz—Doły, na wysokości 143 m n.p.m. (rozpoczęto je w sierpniu 1976 r. i zakończono w paź-



Ryc. 5. Przekroje hydrogeologiczne dorzecza Grodarza (oprac. Michalczyk 1980)

Hydrogeologic sections of the Grodarz drainage basin (prepared by Michalczyk 1980); 1 — loess, 2 — sandy loess, 3 — sand, 4 — gravel, 5 — clay, 6 — loam, 7 — opokas, limestones and marls of the Upper Cretaceous, 8 — stabilized water table

dzienniku 1980 r.). W okresie 1976—1980 codziennie mierzono stany wody, wykonano 28 pomiarów przepływu oraz pobierano w stałym rytmie tygodniowym i przy ekstremalnych stanach próbki wody do analiz laboratoryjnych. Zmęcenie wody analizowano metodą wagową bezpośrednią według zaleceń Brańskiego (1968), a mineralizację metodą konduktometryczną według wskazań Markowicz i Puliny (1970). Ogółem w całym okresie badań analizy takie wykonano dla 286 próbek wody pobranych z Grodarza w tym punkcie wodowskazowym.

Z mniejszą częstotliwością prowadzono pomiary wodowskazowe w dolnym odcinku Potoku Uściąskiego, w Kol. Uściąż, na wysokości 176 m n.p.m. Odczyty stanów i pobór próbek wody prowadzono tutaj raz na miesiąc; wykonano 29 pomiarów przepływu oraz analizy zmęcenia i mineralizacji dla 40 próbek wody. Poza tym badano wydajności 3 źródeł w miejscowości Kazimierz—Doły, w Czerniawach i w Uściążu oraz analizowano mineralizację pobieranych z nich próbek wody. Dla części próbek wód rzecznych i źródłanych wykonano analizy składu jonowego.

Szczegółowe kartowanie geologiczno-morfologiczne wykonano dla wybranego obszaru 4 km<sup>2</sup> w silnie denudowanej, lessowej części dorzecza Grodarza. Na obszarze tym zbadano istniejące odsłonięcia i wykonano 160 wierceń ręcznym świdrem w celu ilościowego określenia rozmiarów „denudacyjnej” redukcji profili glebowych lub grubości pokryw akumulacji produktów denudacji gleb.

#### ZLEWNIE CZĄSTKOWE OBJĘTE POMIARAMI

Jako miarę natężenia denudacji prezentujemy wyniki obliczeń rzeczno-transportu zawiesin i roztworów w dwu przekrojach wodowskazowych na Grodarzu i Potoku Uściąskim (tab. 1 i 2). Należy podkreślić, że z punktu widzenia denudacji mechanicznej trzeba rozpatrywać wskaźniki odniesione do zlewni powierzchniowych, a denudacji chemicznej — do zlewni podziemnych obu tych punktów. Zasięgi jednych i drugich zlewni różnią się znacznie ze względu na podkreślone niezgodności układu działów powierzchniowych i podziemnych.

Zlewnia powierzchniowa powyżej punktu wodowskazowego na Potoku Uściąskim obejmuje 9,5 km<sup>2</sup>. Obszar zasilania tego Potoku podziemnymi wodami ze skał górnokredowych obejmuje tylko około 5 km<sup>2</sup>. Różnica wielkości tak określonych zlewni jest więc duża. Wskaźniki transportu zawiesin zostały więc odniesione tylko do powierzchni 9,5 km<sup>2</sup>, a transportu roztworów — dla zlewni powierzchniowej 9,5 km<sup>2</sup> i podziemnej 5 km<sup>2</sup> (tab. 2).

Zlewnię powierzchniową punktu wodowskazowego na Grodarzu w Dołach znacznie trudniej określić jednoznacznie ze względu na zmienność



Tab. 1. Miesięczne wskaźniki przepływów, zmaczenia i mineralizacji wód Grodarza w latach 1977—1980 (wodowskaz Kazimierz-Doly, powierzchnia zlewni 6,0 km<sup>2</sup>)  
 Mean indices of run-off, suspended and dissolved in waters of the Grodarz River in 1977—1980 (Kazimierz-Doly water-gauge, catchment area of 6.0 km<sup>2</sup>)

Wskaźniki	Okres pomiarów	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Śred.
Przepływ /l/s/	1977	7,0	8,3	7,9	9,8	15,7	17,2	13,9	12,2	10,6	20,2	13,8	13,7	12,5
	1978	11,9	13,1	14,7	9,8	15,6	20,2	20,2	20,1	17,8	22,3	18,2	22,5	17,2
	1979	20,0	18,8	16,3	16,9	64,9	32,1	32,4	30,3	31,9	31,8	27,0	27,4	29,2
	1980	25,1	24,9	22,6	24,1	28,3	24,5	26,5	25,6	26,5	28,3	34,2	44,1	27,9
	średnia 1977—1980	16,0	16,3	15,3	15,1	31,1	23,5	23,2	22,0	21,7	25,6	23,3	26,9	21,7
Zmaczenia /mg/l/	1977	36,8	23,8	48,8	144,0	108,0	104,0	33,0	42,3	78,8	349,0	46,8	19,6	86,2
	1978	32,9	67,4	102,0	94,0	206,0	97,3	72,2	65,8	56,9	293,0	134,0	57,6	107,0
	1979	94,5	148,0	156,0	162,0	951,0	58,5	40,2	27,3	256,0	34,2	46,5	13,3	166,0
	1980	44,9	45,3	50,5	68,9	114,0	64,8	62,5	304,0	83,0	324,0	81,7	63,2	159,0
	średnia 1977—1980	52,3	71,1	89,3	117,2	344,8	81,2	52,0	259,9	118,7	250,1	77,3	38,4	129,0
Mineralizacja /zg/l/	1977	334	332	332	333	337	333	335	330	344	333	338	338	335
	1978	356	359	353	347	342	357	360	352	336	344	345	355	350
	1979	350	332	332	332	266	345	348	356	350	359	360	354	340
	1980	353	348	349	339	334	342	350	349	354	346	356	348	347
	średnia 1977—1980	348	343	342	338	320	344	348	347	346	345	350	349	343

Tab. 2. Roczne sumy opadów w stacji IMiGW Kazimierz Dolny (145 m n.p.m.) oraz wskaźniki przepływów, ładunku i transportu jednostkowego zawieszin i rozтворów w wodach Potoku Uścińskiego i Grodarza (dane dla lat hydrologicznych)  
 Annual total precipitation at the Kazimierz Dolny station (of the Institute of Meteorology and Water Management) at 145 a.s.l. and indices of run-off, charge and transport of the unit suspended matter and solution in waters of the Uściąg and Grodarz streams (data for hydrologic years)

Wskaźniki	Potok Uściński Wodowskaz Kol. Uściąg 175,5 m n.p.m. Zlewnia:			Grodarz Wodowskaz Kazimierz-Doly 143,0 m n.p.m. Zlewnia 6,0 km <sup>2</sup>			
	a/ powierzchniowa 9,5 km <sup>2</sup> b/ podziemna 5,0 km <sup>2</sup>						
	1978	1979	1980	1977	1978	1979	1980
Opad /w. mm/				661	646	503	808
Przepływ /l/s/	28,7	41,0	37,1	12,5	17,2	29,2	27,9
Odpływ jednostkowy /l/s/km <sup>2</sup> /	3,0	4,3	3,3	2,1	2,9	4,9	4,7
Zmaczenie /mg/l/	22,8	18,5	19,8	86,2	107,0	166,0	159,0
Mineralizacja /mg/l/	267	247	265	335	350	340	347
Jednostkowy transport zawieszin /t/km <sup>2</sup> /rok/	a/ 2,2	a/ 2,5	a/ 2,1	6,8	10,1	38,3	22,6
Jednostkowy transport rozтворów /t/km <sup>2</sup> /rok/	a/ 25,4	a/ 33,6	a/ 26,6	22,1	31,9	51,3	51,1
	b/ 48,3	b/ 63,8	b/ 50,5				

zasięgu spływu wód atmosferycznych. W okresie badanym praktycznie prawie nie obserwowano spływu z górnej części dorzecza, położonej na południe od krawędzi lessowej. Zlewnia powierzchniowa liczona do tej krawędzi obejmuje 6 km<sup>2</sup>. Zlewnia podziemna źródłowego odcinka

Grodarza, chociaż zasięg jej jest inny, także obejmuje około 6 km<sup>2</sup>. Dlatego też transport zawiesin i roztworów odnosimy do powierzchni jednakowej pod względem wielkości.

#### WARUNKI HYDROKLIMATYCZNE OKRESU BADAŃ

Ponieważ systematyczne pomiary ilościowe wskaźników denudacji rozpoczęto w sierpniu 1976 r., opracowany okres obejmuje tylko 4 lata hydrologiczne 1977—1980. Wyniki pomiarów hydrometrycznych (tab. 1 i 2) zestawione są dla lat hydrologicznych (od 1 XI do 31 X). Wskaźniki stosunków klimatycznych podawane są w tekście także dla lat kalendarzowych.

Czteroletni okres 1977—1980 wyróżniał się opadami wyższymi od przeciętnych wieloletnich. Średni roczny opad dla tego okresu w Kazimierzu wynosił bowiem 655 mm, przy przeciętnej dla 30-lecia 1951—1980 sumie 607 mm. Najwyższy w badanym okresie opad w roku klimatycznym 1980 wynosił 785 mm, tzn. należał do wysokich w skali 30-lecia, dla którego maksimum wynosiło 895 mm. Najniższy opad zanotowano w 1979 r. — 503 mm, przy minimum 30-letnim wynoszącym 418 mm. Na podstawie analizy stosunków opadowych można więc sądzić, że lata 1977—1980 wyróżniały się w zlewni Grodarza przepływami wód rzecznych wyższymi od przeciętnych wieloletnich. Nie można tego jednak określić liczbowo, gdyż w dorzeczu tym w latach poprzednich nie były prowadzone systematyczne pomiary hydrometryczne.

Średni roczny odpływ Grodarza w Dołach — ze zlewni liczącej 6 km<sup>2</sup> — w okresie 1977—1980 wynosił 21,7 l/s, czyli 3,6 l/s/km<sup>2</sup>. Wskaźniki roczne wahały się od 12,5 l/s (1977) do 29,2 l/s (1979), a miesięczne od 7,0 l/s (XI 1977) do 64,9 l/s (III 1979). W profilu wodowskazowym Doły ekstremalnie wysoki przepływ chwilowy w dniu 21 III 1979 r. wynosił prawdopodobnie około 380 l/s (tzn. 67 l/s/km<sup>2</sup>); najniższy zaś przepływ chwilowy w listopadzie 1977 r. wynosił 6,6 l/s (tzn. 1,1 l/s/km<sup>2</sup>). Wahania przepływów chwilowych były więc duże, decydowała o tym nierównomierność zasilania powierzchniowego. Zasilanie podziemne, odpowiednio do mało zmiennej wydajności źródeł w Dołach, jest bowiem słabo zróżnicowane. W skali wieloletniej — na skutek zróżnicowania spływu powierzchniowego — wahania przepływów są znacznie większe. Przy wysokich opadach nawalnych zasilanie powierzchniowe rośnie gwałtownie. Wody z górnej części dorzecza, powyżej Uściąza, przepływają wtedy przez „suchą” dolinę w Wylągach i zasilają Grodarz. Przypadki takie ostatnio wystąpiły dwukrotnie: 24 IV 1976 r., przy zanotowanych w Kazimierzu opadach dobowych 48,4 mm, przepływ przy ujściu Grodarza wynosił około 12 600 l/s; wobec powierzchni całego dorzecza 29 km<sup>2</sup>

wskaźnik odpływu jednostkowego wynosił więc wówczas około  $430 \text{ l/s/km}^2$  oraz 24 VI 1981 r., przy zanotowanym w stacji IMiGW w Kazimierzu opadzie dobowym 102,1 mm, przepływ przy ujściu wynosił około  $37\,000 \text{ l/s}$ , a odpływ jednostkowy około  $1270 \text{ l/s/km}^2$ .

Można do tego dodać jeszcze przykład ulewy katastrofalnej prawdopodobnie w skali stuletniej (która wystąpiła 13 V 1936 r.). Maksymalny przepływ chwilowy Grodarza przy ujściu oszacowany był wówczas na  $106\,000 \text{ l/s}$  (Dęb ski 1970), czyli odpływ jednostkowy wynosił około  $3650 \text{ l/s/km}^2$ . Zmienność przepływów chwilowych w dorzeczu Grodarza w skali stuletniej (od 1 do  $3600 \text{ l/s/km}^2$ ) jest więc wyjątkowo duża, porównywalna chyba tylko z właściwą dla wyższych partii górskich Karpat Zachodnich. Jest to wymowny wskaźnik osobliwych warunków geomorfologicznych, sprzyjających wyjątkowo gwałtownemu spływowi wód opadów nawalnych.

#### RZECZNY TRANSPORT ZAWIESIN

W słabo urzeźbionej zlewni Potoku Uściąskiego jest on niewielki — średni wskaźnik jednostkowy wynosi tylko  $2,3 \text{ t/km}^2/\text{rok}$ . Różnice z roku na rok w latach 1978—1980 były bardzo małe. Tłumaczy się to małym zróżnicowaniem przepływów tego Potoku, warunkowanym dominującą rolą zasilania podziemnego mało zróżnicowanego w ciągu roku. Ze względu na małą częstotliwość pomiarów nie można dokładniej określić zróżnicowania sezonowego. Podkreślić należy, iż ustalony dla tej zlewni jednostkowy transport zawiesin odpowiada przeciętnym obliczonym dla nizinnej części dorzecza Wisły (Brań ski 1975).

W silnie urzeźbionej zlewni Grodarza transport zawiesin był ponad 10-krotnie większy — średni wskaźnik jednostkowy dla lat 1977—1980 wynosi  $25,6 \text{ t/km}^2/\text{rok}$ . Jest to wielkość porównywalna z ustaloną na podstawie 20-letnich pomiarów dla silnie erodowanej zlewni górnej Bystrej (Sadurska, Maruszczak 1982). Dla zlewni Grodarza charakterystyczne jest przy tym duże zróżnicowanie natężenia transportu z roku na rok, odpowiednio do bardzo zmiennego i ogólnie dużego zasilania powierzchniowego. Największy transport zanotowano w 1979 r., który wyróżniał się najniższymi opadami, ale równocześnie największym przepływem rocznym (tab. 2). Niewiele niższy przepływ roczny stwierdzono w 1980 r., który wyróżniał się wprawdzie najwyższymi opadami, ale transport zawiesin był aż o 40% niższy niż w 1979 r. Natężenie transportu zawiesin w zlewni Grodarza nie zależy więc bezpośrednio od wielkości przepływów rocznych, decydujące znaczenie ma ich rytm sezonowy, a właściwie występowanie gwałtownych spływów powierzchniowych. O dużym natężeniu denudacji mechanicznej w 1979 r. zdecydowały zja-

wiska z okresu obfitych roztopów zimowo-wiosennych, w czasie których zanotowano najwyższe przepływy.

Dla zlewni Grodarza charakterystyczny jest więc bardzo wyraźny rytm sezonowy transportu zawiesin. Na wiosnę przypadało 35% sumy transportu za cały okres 1977—1980, na lato 41%, na jesień 11% i na zimę 13%. Średnie miesięczne maksimum przypadało na okres roztopów w marcu (zadecydował o tym rok 1979 — tab. 1), a dwa drugorzędne na czerwiec i sierpień (zadecydowały o tym pojedyncze, obfite opady letnie w 1980 r. w czerwcu i w 1977 r. w sierpniu). Bardzo duże było zróżnicowanie chwilowych (dobowych) wskaźników transportu zawiesin Grodarza. Maksymalny stwierdzono podczas burzowego opadu 25 VI 1980 r.; w ciągu niespełna dwu godzin Grodarz przetransportował wówczas więcej zawiesin niż w ciągu całego 1977 r.

Dzięki znacznej zmienności natężenia denudacji mechanicznej średni 4-letni wskaźnik jednostkowy (tzn. 25,6 t/km<sup>2</sup>/rok) można uznać za dość reprezentatywny. Wydaje się jednak, że średni w skali 30-letniej byłby raczej wyższy. Wprawdzie 30-letni przepływ jednostkowy w latach 1951—1980 prawdopodobnie był niższy od zmierzonego dla okresu 1977—1980, ale w tym ostatnim okresie nie wystąpiły przypadki obfitych opadów nawalnych, podobnych jak np. 24 VI 1981 r. czy 24 IV 1976 r. W czasie takich opadów natężenie transportu zawiesin w Grodarzu prawdopodobnie jest dużo większe niż obserwowane podczas roztopów wiosennych w 1979 r. Szacunkowo można przyjąć, że gdybyśmy objęli naszymi badaniami jeden rok z opadem nawalnym, to średni kilkuletni wskaźnik transportu zawiesin przekroczyłby na pewno 30, a być może nawet zbliżyłby się do 40 t/km<sup>2</sup>/rok.

#### RZECZNY TRANSPORT ROZTWORÓW

W zlewni Potoku Uściąskiego jest on duży — średni wskaźnik jednostkowy obliczony dla zlewni podziemnej tego Potoku dla lat 1978—1980 wynosi 54,2 t/km<sup>2</sup>/rok. Zróżnicowanie z roku na rok było przy tym stosunkowo niewielkie, proporcjonalne do wielkości przepływów warunkowanych dominującym zasilaniem gruntowym. Wskaźnik denudacji chemicznej tej zlewni jest więc porównywalny z ustalonymi dla obszarów wyżynnych zbudowanych ze skał węglanowych (J a w o r s k a 1968, B u r a c z y ń s k i i M i c h a l c z y k 1975).

W zlewni Grodarza natężenie transportu rozтворów było wyraźnie mniejsze — średni wskaźnik jednostkowy dla lat 1977—1980 wynosi 39,1 t/km<sup>2</sup>/rok. Decydowała o tym tylko wielkość przepływów, a nie inny stopień podatności tej zlewni na działanie chemiczne. Dla uzasadnienia takiego stwierdzenia posłużymy się wskaźnikiem transportu przypada-

jącym na jednostkę przepływu. Średni 4-letni przepływ jednostkowy dla tej zlewni wynosi  $3,6 \text{ l/s/km}^2$ , a więc na jednostkę przepływu przypadają  $10,9 \text{ t/km}^2/\text{rok}$  roztworów. Identyfikacyjnie obliczony wskaźnik transportu roztworów na jednostkę przepływu dla zlewni Potoku Uściąskiego wyniosłby  $6,8 \text{ t/km}^2/\text{rok}$ . Natężenie procesów ługowania zlewni Grodarza jest więc znacznie większe niż zlewni Potoku Uściąskiego. Wynika to z tego, że w tej pierwszej wody gruntowe znajdują się na większej głębokości, tzn. grubość warstwy ługowanej jest znacznie większa. Odpowiednio do tego wskaźniki mineralizacji źródeł Grodarza w okresie badań były wyraźnie wyższe i wynosiły  $320\text{--}360 \text{ mg/l}$ , gdy dla źródeł Potoku Uściąskiego tylko  $250\text{--}300 \text{ mg/l}$ . Ponieważ skład jonowy wód tych źródeł jest bardzo podobny, różnice wielkości mineralizacji można wiązać raczej z grubością warstwy aeracji niż jakością ługowanych skał górnokredowych czy osadów czwartorzędowych.

Zlewnia Grodarza charakteryzuje się przy tym znacznym zróżnicowaniem natężenia denudacji chemicznej w czasie z roku na rok, odpowiednio do przepływów bardziej zróżnicowanych niż w zlewni Potoku Uściąskiego. W każdym roku natężenie transportu roztworów było jednak proporcjonalne do wielkości przepływów.

Dzięki temu, że transport roztworów jest wprost proporcjonalny do przepływów, można obliczyć przeciętny wieloletni wskaźnik dla całego badanego dorzecza ( $29 \text{ km}^2$ ). W tym celu przyjmujemy, na podstawie opracowania Stachego (1966), jako przeciętny wieloletni przepływ jednostkowy  $3,5 \text{ l/s/km}^2$  oraz mineralizację wód rzecznych średnią z ustalonych przez nas dla Grodarza i Potoku Uściąskiego (około  $300 \text{ mg/l}$ ). Przy takich danych podstawowych przeciętny wskaźnik jednostkowy denudacji chemicznej wynosi  $33 \text{ t/km}^2/\text{rok}$ . Kwalifikuje on obszar badany do słabiej denudowanych terenów wyżynnych międzyrzecza Wisły i Bugu. Dla górnej, słabo urzeźbionej części dorzecza wielkość takiego wskaźnika przeciętnego wyniosłaby około  $29 \text{ t/km}^2/\text{rok}$ , zaś dla silnie urzeźbionej dolnej —  $38 \text{ t/km}^2/\text{rok}$ . Zróżnicowanie przestrzenne natężenia denudacji chemicznej w dorzeczu Grodarza jest więc nieporównywalnie mniejsze niż denudacji mechanicznej.

#### ZRÓŻNICOWANIE PRZESTRZENNE NATĘŻENIA DENUDACJI MECHANICZNEJ SILNIE URZEŹBIONYCH OBSZARÓW LESSOWYCH

Dolna część dorzecza Grodarza należy do najsilniej urzeźbionych obszarów lessowych wschodniej części pasa wyżyn południowopolskich. Wchodzi ona w skład zachodniego rejonu Płaskowyżu Nałęczowskiego, wyróżniającego się silną erozją wąwozową; przeciętny wskaźnik gęstości

sieci wąwozowej wynosi w tym rejonie  $2,5 \text{ km/km}^2$ , a skrajnie sięgają nawet do  $11 \text{ km/km}^2$  (M a r u s z c z a k 1973). Szacunkowo przez nas ustalony przeciętny wskaźnik wieloletni transportu zawiesin wynosi w tej części dorzecza Grodarza  $30\text{--}40 \text{ t/km}^2/\text{rok}$ . Natężenie denudacji mechanicznej jest więc tutaj w latach sprzyjających rozwojowi tego procesu większe niż denudacji chemicznej. W obszarach wyżynnych taka relacja obu składowych denudacji obserwowana jest raczej wyjątkowo. Tylko w zlewniach karpackich górnej części dorzecza Wisły wskaźniki rzeczno-transportu zawiesin są wyższe niż roztworów. W obrębie tej niewielkiej, silnie erodowanej części dorzecza Grodarza natężenie denudacji mechanicznej jest bardzo zróżnicowane. Dla ilustracji podamy wyniki szczegółowego kartowania geomorfologicznego, poprzedzając je wstępnym ujęciem szacunkowym.

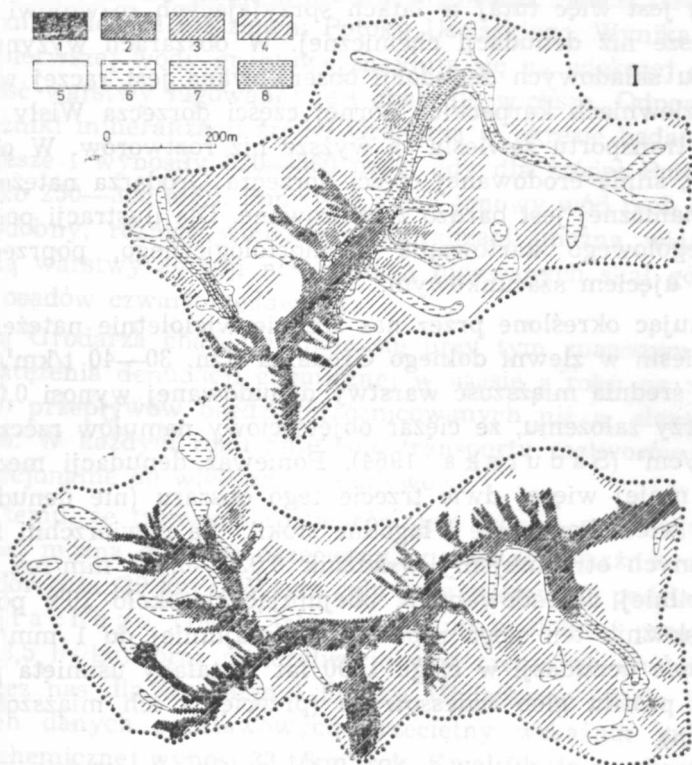
Przyjmując określone przez nas średnie wieloletnie natężenie transportu zawiesin w zlewni dolnego Grodarza (tzn.  $30\text{--}40 \text{ t/km}^2/\text{rok}$ ) obliczymy, że średnia miąższość warstwy denudowanej wynosi  $0,023\text{--}0,031 \text{ mm/rok}$  przy założeniu, że ciężar objętościowy namułów rzecznych wynosi  $1,3 \text{ g/cm}^3$  (S a d u r s k a 1964). Ponieważ denudacji mechanicznej podlegają mniej więcej dwie trzecie tego obszaru (nie denudowane są zrównania wierzchwinowe i łagodne stoki), dla powierzchni faktycznie degradowanych otrzymujemy wskaźnik  $0,035\text{--}0,047 \text{ mm/rok}$ . W miejscach najsilniej degradowanych, obejmujących około 10% powierzchni zlewni, wskaźnik ten sięga zapewne przynajmniej do  $1 \text{ mm/rok}$ . Przy takim tempie denudacji w ciągu 1000 lat zostałyby usunięta przeważająca część profilu gleb nalessowych (przeciętna ich miąższość wynosi około  $1,5 \text{ m}$ ).

Dla skontrolowania wyników takich obliczeń szacunkowych przytoczymy dane ze szczegółowych badań geologiczno-morfologicznych dwu zlewni wąwozowych (ryc. 6).

I. Zlewnia wąwozu między Wylągami i Skowieszynkiem o powierzchni  $0,44 \text{ km}^2$ , z punktami skrajnymi  $218,3$  i  $172,0 \text{ m n.p.m.}$  Wyróżnia się ona słabiej rozwiniętym systemem wąwozowym, zajmującym tylko 7,7% powierzchni; wskaźnik gęstości sieci wąwozów wynosi  $3,2 \text{ km/km}^2$ . Kubatura materiału usuniętego z wąwozów wynosi  $167\,500 \text{ m}^3$ , a z denudowanych stoków obejmujących 33,3% powierzchni — około  $51\,200 \text{ m}^3$ . Z materiału denudowanego ze stoków pozostało w obrębie zlewni — tzn. na dnach dolin (poza wąwozami) zajmujących 13,7% powierzchni — około  $27\,400 \text{ m}^3$ . Poza zlewnię usunięty więc został materiał o ogólnej objętości  $191\,400 \text{ m}^3$ , który po rozpostarciu na całą powierzchnię utworzyłby warstwę o średniej grubości  $44 \text{ cm}$ . Gdybyśmy przyjęli określone wcześniej, dla najsilniej erodowanych powierzchni lessowych omawianego ob-

szaru, średnie tempo denudacji mechanicznej 1 mm/rok, to „odprowadzenie” tej ilości materiału trwałoby 440 lat.

II. Zlewnia wąwozu między Jeziorszczyzną i Wylągami o powierzchni 0,52 km<sup>2</sup>, z punktami skrajnymi 219,4 i 162,5 m n.p.m. Wyróżnia się



Ryc. 6. Zasięgi i natężenie denudacji oraz akumulacji w wybranych zlewniach wąwozowych (oprac. Rodzik 1980); I — między Wylągami i Skowieszynkiem; II — między Jeziorszczyzną i Wylągami. Położenie zlewni oznaczone na ryc. 3. Zasięg erozji wąwozowej: 1 — średnia miąższość warstwy zdenudowanej około kilku metrów. Powierzchnie denudowane poza wąwozami o miąższości warstwy usuniętej: 2 — powyżej 1 m; 3 — od 1 do 0,5 m; 4 — poniżej 0,5 m. Powierzchnie w stanie równowagi: 5 — brak jednoznacznych oznak denudacji lub akumulacji. Powierzchnie akumulacji produktów denudacji o miąższości warstwy namytej: 6 — poniżej 0,5 m; 7 — od 0,5 do 1 m; 8 — powyżej 1 m

Extent and intensity of denudation and accumulation in selected ravine catchments (prepared by Rodzik 1980); I — between Wylągi and Skowieszynek, II — between Jeziorszczyzna and Wylągi. Position of the catchment is marked at Figure 3. Extent of the ravine erosion: 1 — mean thickness of the denuded bed of several metres. Denuded surfaces outside the ravines with a thickness of the withdrawn bed of: 2 — over 1 m, 3 — 1 to 0.5 m, 4 — smaller than 0.5 m. Surfaces in equilibrium: 5 — no univocal denudation or accumulation symptoms. Surfaces of accumulation of denudation products with a thickness of the washed matter of: 6 — below 0.5 m, 7 — from 0.5 to 1 m, 8 — over 1 m

znacznie silniej rozwiniętym systemem wąwozowym, zajmującym 18,7% powierzchni; wskaźnik jego gęstości wynosi  $7,5 \text{ km/km}^2$ . Rozmiary zniszczeń spowodowanych erozją wąwozową są więc tutaj znacznie większe, pomimo iż potencjalne warunki geomorfologiczne są bardzo podobne. Najprawdopodobniej zdecydowały więc o tym warunki historyczne, a ściślej określając czas rozwoju wzmożonej degradacji terenu. Kubatura materiału usuniętego z wąwozów wynosi  $466\,500 \text{ m}^3$ , a z denudowanych stoków obejmujących 34,0% powierzchni około  $57\,900 \text{ m}^3$ ; na dnach dolin zajmujących 6,0% powierzchni pozostało około  $10\,100 \text{ m}^3$  materiału zmywanego ze stoków. Poza obszar zlewni wyniesione zostało  $514\,300 \text{ m}^3$  materiału, który po rozłożeniu na całą powierzchnię utworzyłby warstwę o średniej miąższości 99 cm. Przy przeciętnym tempie denudacji 1 mm/rok „odprowadzenie” tej ilości materiału trwałoby 1000 lat. Dla wyjaśnienia wątpliwości należy podkreślić, że produkty denudacji z tych powierzchni najsilniej degradowanych tylko częściowo są unoszone do Grodarza. Znaczna ich część akumulowana jest, poniżej powierzchni niszczonej, w obrębie suchych dolin i na dnie doliny głównej.

Wydaje się, że uzyskane wyniki potwierdzają wysuwaną już wcześniej tezę, że młode rozcięcia erozyjne typu wąwozów w obszarach lessowych Wyżyny Lubelskiej powstały głównie w czasach historycznych, w wyniku rozwoju intensywniejszej działalności rolniczej (Maruszczak 1973). Można przypuszczać, że faktyczny okres rozwoju erozji wąwozowej w zlewni II trwał nawet krócej niż 1000 lat. Intensywniejsze osadnictwo rolnicze na tamtym terenie, a ściślej mówiąc w okolicy dzisiejszego Kazimierza Dolnego oraz Skowieszynka (dawniej Skowieszyn), datowane jest na XII i XIII w. (Teodorowicz-Czerpińska 1981). Być może więc ustalone przez nas ekstremalne, przeciętne tempo kilkudziesięcioletniej denudacji mechanicznej 1 mm/rok jest zaniżone w skali wiekowej. Gdybyśmy dysponowali danymi ilustrującymi transport zawiesin podczas takich ulew katastrofalnych jak w dniu 13 V 1936 r., to przeciętna dla stulecia wielkość wskaźnika denudacji okazałaby się znacznie większa. Rozmiary degradacji podczas ulew katastrofalnych są bowiem dziesiątki razy większe od przeciętnych rocznych (Maruszczak, Trembaczowski 1958, Buraczyński, Wojtanowicz 1974).

#### WNIOSKI

1. Małe dorzecze Grodarza ( $29,3 \text{ km}^2$ ), dzięki położeniu w strefie brzegu przełomowej doliny Wisły środkowej, wyróżnia się deniwelacjami (110 m) największymi w NW części Wyżyny Lubelskiej. Szczególnie duże



są deniwelacje w dolnej części dorzecza pokrytej lessami, wyróżniającej się silnym rozcięciem sprzyjającym gwałtownym spływom wód roztopowych i opadów ulewnych. Związek z Wisłą, duże deniwelacje oraz silne spękania węglanowych skał górnokredowych budujących fundament skalny dorzecza powodują duże zróżnicowanie stosunków hydrogeologicznych. Wody głównego poziomu podziemnego reprezentują różne typy krążenia i występują na różnych głębokościach. Odpowiednio zmienna jest więc grubość warstwy aeracji, tzn. także wielkości ługowania przez wody atmosferyczne. W związku z tym, że zwierciadło głównego poziomu wód podziemnych jest pochylone zgodnie z upadem warstw górnokredowych ku NE, działy podziemne nie pokrywają się z powierzchniowymi. Silne, tektonicznie uwarunkowane spękania podłoża skalnego powodują ucieczkę części rzecznych wód powierzchniowych, a w rezultacie występowanie dwu potoków nie łączących się ze sobą, pomimo iż związane są one z ciągłą, dobrze rozwiniętą doliną.

2. Dużemu zróżnicowaniu warunków geomorfologicznych i hydrogeologicznych odpowiada zmienność natężenia denudacji. Przyjmując za miarę denudacji ilość roztworów i zawiesin unoszonych przez potoki stwierdziliśmy: a) w górnej części dorzecza (18,3 km<sup>2</sup>), wyróżniającej się niewielkimi deniwelacjami, wskaźniki jednostkowego transportu roztworów (54,2 t/km<sup>2</sup>/rok) są stosunkowo wysokie w skali pasa wyżyn południowopolskich, a transportu zawiesin (2,3 t/km<sup>2</sup>/rok) niskie, podobnie jak w pasie nizin środkowopolskich; b) w dolnej części dorzecza (11,0 km<sup>2</sup>), wyróżniającej się dużymi deniwelacjami, wskaźniki jednostkowego transportu roztworów są wyraźnie niższe (39,1 t/km<sup>2</sup>/rok), a transportu zawiesin (25,6 t/km<sup>2</sup>/rok) ponad dziesięciokrotnie wyższe i porównywalne z największymi w pasie wyżyn południowopolskich.

3. Podane wskaźniki denudacji chemicznej i mechanicznej ustalono na podstawie pomiarów hydrometrycznych w latach 1977—1980. Okres ten z punktu widzenia wielkości przepływów rzecznych, a więc i transportu roztworów i zawiesin, można uznać za reprezentatywny dla górnej i środkowej części badanego dorzecza. W latach tych nie występowały jednak letnie opady nawalne, które powodują gwałtowny wzrost denudacji mechanicznej w części dolnej. Na podstawie obserwacji silnych zniszczeń podczas takiej ulewy w 1981 r., a także innych faktów oszacowano, że w dolnej części dorzecza średni wieloletni wskaźnik transportu zawiesin wynosi przynajmniej 30—40 t/km<sup>2</sup>/rok. Jest więc to obszar, w którym natężenie denudacji mechanicznej okresowo jest wyższe niż denudacji chemicznej. Taka relacja obu składowych denudacji jest zupełnie nietypowa w pasie wyżyn południowopolskich — w dorzeczu Wisły występuje tylko w górskich obszarach Karpat.

4. W dolnej części dorzecza Grodarza natężenie denudacji mechanicz-

nej jest silnie zróżnicowane w mikroskali. Jeśli określony dla niej przeciętny wieloletni wskaźnik takiej denudacji wynosi 0,023—0,031 mm/rok, to dla miejsc o największych nachyleniach powierzchni wielkość tę można szacować na 1 mm/rok. W takich miejscach gleby mogły być w całości zdenudowane w czasach historycznych, a silnie rozwinięte systemy wąwozów lessowych powstawały w ciągu kilkuset lat. Materiał usuwany z powierzchni najsilniej degradowanych przeważnie jednak pozostawał w obrębie dorzecza — Grodarz unosił do Wisły tylko jego część bliżej nie określoną przy pomocy zastosowanych metod.

## LITERATURA

- Brański J. 1968; Oznaczanie ilości unosin metodą wagową bezpośrednią przy użyciu sączków (sum. Determination of suspended load by direct weight method using filters. *Prace PIHM*, z. 94, Warszawa, ss. 13—21.
- Brański J. 1975; Ocena denudacji dorzecza Wisły na podstawie wyników pomiarów rumowiska unoszonego (sum. Assessment of the Vistula catchment area denudation on the basis of bed load transport measurements). *Prace IMiGW*, z. 6, Warszawa, ss. 5—58.
- Buraczyński J., Michalczyk Z. 1975; Denudacja chemiczna w dorzeczu Białej Łady (res. Dénudation chimique dans le bassin de la Biała Łada). *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska s. B*, v. XXVIII, Lublin, ss. 127—138.
- Buraczyński J., Wojtanowicz J. 1974; Rozwój wąwozów lessowych w okolicy Dzierzkowic na Wyżynie Lubelskiej pod wpływem gwałtownej ulewy w 1969 roku (rés. Evolution des ravins les loess des environs de Dzierzkowice (Plateau de Lublin) sous l'actoin de la violente averse de juin 1969). *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodow. s. B*, v. XXVI, Lublin, ss. 135—168.
- Dębski K. 1970; *Hydrologia*. Wyd. Arkady, Warszawa.
- Harasimiuk M. 1980; Rzeźba strukturalna Wyżyny Lubelskiej i Rostocza. *Rozprawy habilitacyjne UMCS*, Lublin.
- Harasimiuk M., Henkiel A. 1976; Osobliwości pokrywy lessowej zachodniej części Płaskowyżu Nałęczowskiego (sum. Peculiarities of the loess cover in the western part of the Nałęczów Plateau). *Biul. IG.*, 297, Z badań czwartorzędu w Polsce, t. 18, Warszawa, ss. 177—184.
- Jaworska M. 1968; Erozja chemiczna i denudacja zlewni rzeki Wieprza i Pilicy (sum. Chemical erosion and denudation of Wieprz and Pilica basin). *Prace PIHM*, z. 95, Warszawa, ss. 29—47.
- Kowalski W. C. 1961; Wytrzymałość na ściskanie budowlanych skał senońskich przelomowego odcinka Wisły Środkowej (sum. Engineering geological characteristics of the Senonian rocks occurring in gorge valley of the Middle Vistula river). *Biul. Geol. Uniw. Warszawskiego*, t. I, z. 2, Warszawa, ss. 3—113, sum. 149.
- Malinowski J. 1959; Wyniki badań geotechnicznych lessów między Kazimierzem Dolnym a Nałęczowem (sum. Results of geotechnical investigations of loess between Kazimierz Dolny and Nałęczów — Lublin Upland). *Kwart. Geol.* t. 3, z. 2, Warszawa, ss. 425—456.

- Markowicz M., Pulina M. 1970; Instrukcja wykonywania analiz chemicznych wód dla celów geomorfologicznych. Inst. Geogr. Uniw. Wrocławskiego, Wrocław.
- Maruszczak H. 1972; Wyżyny Lubelsko-Wołyńskie. Geomorfologia Polski, t. I, Warszawa, ss. 340—384.
- Maruszczak H. 1973; Erozja wąwozowa we wschodniej części pasa wyżyn południowopolskich (sum. Gully erosion in the eastern part of Southern Uplands of Poland). Zesz. Probl. Postępów Nauk. Roln. z. 151, Warszawa, ss. 15—29.
- Maruszczak H., Trembaczewski J. 1958; Geomorfologiczne skutki gwałtownej ulewy w Piaskach Szlacheckich k. Krasnegostawu (sum. Geomorphological effects of a cloudburst at Piaski Szlacheckie near Krasnystaw). Ann. Univ. Mariae Curie-Skłod., s. B, v. XII, Lublin, ss. 129—160.
- Michalczyk Z., Wojciechowski K. 1981; Stosunki wodne Kazimierskiego Parku Krajobrazowego. Raporty i Opinie PAN. Kraków, z. 10.
- Pożaryska K. 1952; Zagadnienia sedimentologiczne górnego mastrychtu i danu okolic Puław (sum. The sedimentological problems of upper Maestrichtian and Danien of the Puławy environment). Biul. PIG, t. 81, Warszawa.
- Pożaryski W. 1938; Stratygrafia senonu w przełomie Wisły między Rachowem i Puławami (zsf. Senonsstratigraphie im Durchbruch der Weichsel zwischen Rachów und Puławy in Mittelpolen). Biul. PIG, t. 6, Warszawa, ss. 1—94.
- Pożaryski W. 1956; Region lubelski — Kreda. Regionalna Geologia Polski. t. II, Kraków, ss. 14—62.
- Pożaryski W. 1960; Zarys stratygrafii i paleogeografii kredy na Niżu Polskim (sum. An Outline of Stratigraphy and Paleogeography of the Cretaceous in the Polish Lowland). Prace IG., t. 30, cz. 2, Warszawa, ss. 377—440.
- Sadurska E. 1964; Materiał unoszony przez rzekę Bystrą, jako miernik natężenia erozji wodnej gleb (sum. Amount of matter carried down by the Bystra river, treated as an estimate of the rate of water erosion of soil). Pam. Puławski, z. 12, Warszawa, ss. 89—106.
- Sadurska E., Maruszczak H. 1982; Zmiany natężenia denudacji mechanicznej w górnej części dorzecza Bystrej na Wyżynie Lubelskiej w dwudziestoleciu 1952—1971 (sum. Changes in sediment yields in the upper sector of the Bystra river basin on the Lublin Plateau during twenty years 1952—1971). Pam. Puławski, z. 78, Puławy, ss. 27—47.
- Stachy J. 1966; Rozmieszczenie odpływu średniego na obszarze Polski (sum. The distribution of the mean run-off in Poland). Prace PIHM, z. 88, Warszawa, ss. 3—42.
- Teodorowicz-Czerepińska J. 1981; Kazimierz Dolny. Kazimierz.

## РЕЗЮМЕ

Бассейн р. Гродаж — притока Вислы в СЗ части Люблинской возвышенности — хотя и малый (29,3 км<sup>2</sup>) отличается очень большой физиографической дифференциацией. Пресобладающая верхняя часть (18,3 км<sup>2</sup>) характеризуется малыми относительными высотами и большим участием монотонных поверхностей выравнивания, в пределах которых верхнемеловые мергели и опоки покрыты мало-мощным слоем четвертичных отложений. В нижней части с сильно развитым рельефом (11,0 км<sup>2</sup>), где верхнемеловые горные породы покрыты слоями лессов мощностью до 20—30 м, преобладают поверхности склонов с большим наклоном, а относительные высоты достигают 100 м. Низко находящийся базис эрозии на

уровне дна долины Вислы решает о интенсивном развитии процессов эрозии, особенно овражной, в нижней части бассейна; она принадлежит к районам отличающимся большой густотой овражной сети в масштабе всей Люблинской возвышенности. Непрерывный горизонт подземных вод, залегающий в верхнемеловых отложениях, наклоненный обычно к СВ согласно падению слоев. Лишь в районах непосредственного соседства долины Вислы зеркало вод наклонено к СЗ. Соответственно этому глубина залегания подземных вод, а также мощность слоя аэрации (выщелачивания) соответственным образом сильно дифференцированы. На характер циркуляции подземных вод большое влияние имеют — кроме наклона зеркала — направление сильно развитых трещин верхнемеловых пород. В результате значительная часть подземных вод стекает к соседним бассейнам, в направлении к Ю, СВ и С. Водоразделы подземных вод не покрываются с поверхностными. Следствием сложных гидрогеологических соотношений является присутствие в рассматриваемом бассейне двух, не соединяющихся друг с другом, поверхностных ручьев (Усьционжский поток в верхней части и Гродаж в нижней).

Для количественного определения процессов денудации применялся метод гидрометрических измерений в 2 водомерных постах; измерялись уровень и расход воды, избирались пробы воды для анализа содержания взвеси и растворов. В poste расположенном на верхнем потоке проводились измерения на протяжении 3 лет, а на нижнем — в течение 4 гидрологических годов. Результаты в виде обобщенных единичных показателей денудации (= транспорта речными водами) следующие: 1) верхний бассейн Усьционжского потока — транспорт взвеси 2,3 т/км<sup>2</sup>/год и растворов 28,5 т/км<sup>2</sup>/год для поверхностного бассейна или 54,2 т/км<sup>2</sup>/год относительно подземного бассейна; 2) нижний бассейн р. Гродаж — транспорт взвеси 25,6 т/км<sup>2</sup>/год и растворов 39,1 т/км<sup>2</sup>/год. Интенсивность химической денудации в обоих бассейнах близка средней для южнопольских возвышенностей. Механическая денудация в первом бассейне развивается с интенсивностью собственной среднепольским низинам, а во второй она в 10 раз сильнее. В этом втором бассейне средняя многолетняя выше вычисленной для времени 1977—1980. В это время не было ливней, какие выступили например 24 VI 1981 г., в следствие которых интенсивность механической денудации стремительно растет. Если бы наша измерительная серия обнимала год с таким осадком, средний показатель механической денудации возрос бы до 30—40 т/км<sup>2</sup>/год. Во время годов содействующих эрозии в сильно расчлененных лёссовых районах Люблинской возвышенности — как напр. нижняя часть бассейна р. Гродаж — интенсивность механической денудации больше, чем химической денудации. Такое соотношение обоих составных денудаций совсем не типично для возвышенных районов; в бассейне Вислы оно, собственно говоря, имеет место лишь в горах.

Средний многолетний темп механической деградации нижней части бассейна р. Гродаж мы вычисляем на 0,023—0,031 мм/год, предполагая, что объемный вес речных наносков составляет 1,3 г/см<sup>3</sup>. Он является при этом очень сильно дифференцирован в пространстве, ибо третья часть поверхности здесь остается в равновесии (не деградируется). В местах, наиболее наклоненных вдоль линии концентрированного поверхностного стока, обнимающих около 10% поверхности, он в несколько десятков раз больше среднего. Следует подчеркнуть, что материал выношенный из таких поверхностей, очевидно остается в большей части в пределах исследованного бассейна. Река выносит лишь его часть, которая нами ближе не определена; измерение транспорта взвеси не отражает таким образом непосредственно размеров деградации поверхности.

Мы оцениваем, что поверхности наиболее подвергающиеся денудации деградируют в среднем темпе порядка 1 мм/год. Основание для такой оценки составляют результаты подсчетов объема материала вынесенного из малых бассейнов — оврагов площадью около 0,5 км<sup>2</sup>. При таком темпе деградации слабее развитый из двух исследованных овражный бассейн мог образоваться в течение 440 лет, а сильнее развитый — 1000 лет. Овражная эрозия в рассматриваемом районе развивалась таким образом в историческое время в результате интенсификации сельского хозяйства.

#### SUMMARY

The drainage basin of the Godarz, the tributary of the Vistula in the north-western part of the Lublin Upland, is small but its physiography is highly diversified (area of 29.3 km<sup>2</sup>). The predominant upstream part (18.3 km<sup>2</sup>) possesses slight height differences and vast monotonous watershed plains where the Upper Cretaceous marls and opokas are covered by a thin series of the Quaternary deposits. In the strongly morphologically diversified downstream part (11.0 km<sup>2</sup>) where the Upper Cretaceous rocks are mantled by loesses, to 20–30 m thick, the slope surfaces of greater inclinations predominate and the height differences reach 100 m. A low position of the erosive base level at the floor of the Vistula valley, results in an intensive erosion but particularly in the ravine erosion in this second part of the drainage basin. The latter is the outstanding area for its dense pattern of ravines in the whole Lublin Upland. A continuous water-bearing bed inside the Upper Cretaceous rocks is commonly sloping north-eastwards, in agreement with the dip. Only in the areas close to the Vistula valley, the water table is sloping north-westwards. The depth at which the ground waters occur, and the thickness of the aeration (leaching) zone are respectively much differentiated. The ground water circulation is highly influenced by the table slope, by directions of well-developed fissures within the Upper Cretaceous rocks. In result, considerable ground water volumes move into the neighbouring catchments, running southwards, north-eastwards and northwards. Thus, the ground watersheds do not agree with the surface ones. The complex hydrogeologic relations are expressed by the occurrence of two disconnected surface streams (Uściąg Stream upstream and Godarz Stream downstream) in this drainage basin.

A quantitative evaluation of the denudation was done on the basis of the method of hydrometric measurements at two water-gauge sites. Water stage and flow were measured, water was sampled and content of suspended matter and solutions was analyzed. The measurements were carried through during 3 hydrologic years at the upstream gauge and during 4 years downstream. The results in a form of synthetical unit denudation indices (= of river waters transport) are the following: 1) upstream catchment of the Uściąg Stream — transport in suspension 2.3 t/km<sup>2</sup>/year and in solution 28.5 t/km<sup>2</sup>/year for the surface catchment or 54.2 t/km<sup>2</sup>/year for the underground catchment; 2) downstream catchment of the Godarz River — transport in suspension 25.6 t/km<sup>2</sup>/year and in solution 39.1 t/km<sup>2</sup>/year. Intensity of chemical denudation in both catchment is similar to the average one in the South Polish uplands. The suspended yield in the first catchment is therefore as intensive as in the Middle Polish lowlands and in the second catchment it is over 10 times more intensive. The many years' average in the second catchment is higher than the one, estimated during the measurements of 1977—

1960. In that time no terrestrial precipitation was noted, similar e.g. to the one on 24th June 1981 when the intensity of the suspended yield greatly increased. If the authors' measuring series comprised the year with such precipitation, then the mean index of suspended yield would increase to 30—40 t/km<sup>2</sup>/year. During the years favourable for the erosion in the more diversified morphologically loessy areas of the Lublin Upland, as for example the downstream part of the Grodarz drainage basin, the intensity of the soil denudation is therefore greater than of the chemical denudation. Such system of both components of denudation is entirely non-typical for the uplands; in the Vistula drainage basin it occurs only in the mountainous areas.

A mean many years' rate of the suspended yield in the downstream part of the Grodarz drainage basin is evaluated for 0.023—0.031 mm/year (if the bulk density of alluvia is assumed for 1.3 g/cm<sup>3</sup>). At the same time it is highly spatially differentiated. The one third of the area remains there in the equilibrium (it is not degraded). In places with greater inclinations and along the concentrated surface flow zones (comprising about 10% of the area), it is up to several dozen times larger than the average one. It seems to be worth of mention that the matter carried away from such areas remains, after all, within the analyzed drainage basin. The river carries away only some of it, but the exact volume has not been defined by us. Thus, the measurement of the transported suspended matter does not reflect directly the value of the surface degradation.

We can estimate that the surfaces subjected to the most intensive degradation, are destructed with a mean rate of 1 mm a year. Such evaluation is based, among others, on calculations of the volume of the deposit eroded from small ravine catchments of about 0.5 km<sup>2</sup> in their area. At such degradation rate the less developed (of two analyzed) ravine system could be formed during 440 years and the other one was created during a thousand years. Thus, the ravine erosion in the studied area developed during the historic times due to intensive farming.

