

KSZTAŁTOWANIE STOKÓW W ZLEWNI MŁODOGLACJALNEJ (CHWALIMSKI POTOK, GÓRNA PARSEŃTA)

Grażyna Szpikowska

Szpikowska G., 2017: Kształtowanie stoków w zlewni młodoglacjalnej (Chwalimski Potok, Górna Parsęta) (*Forming slopes in a post-glacial catchment [Chwalimski Potok, Upper Parsęta]*), *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, Vol. 19(1), s. 51-59.

Zarys treści: W młodoglacjalnej zlewni Chwalimskiego Potoku (podsystem zlewni górnej Parsęty) przeprowadzono eksperyment terenowy, którego celem było rozpoznanie procesu kształtowania stoków jako efektu ługowania utworów powierzchniowych przez wody krążące w systemie stokowym. Eksperyment polegał na określeniu ubytku masy wzorców gipsowych umieszczonych na okres jednego roku w 11 wyznaczonych profilach stokowych w warstwie przypowierzchniowej gruntu. Zróżnicowanie wskaźnika intensywności ługowania wzdłuż profilu stokowego, odzwierciedlające szybkość obniżania poszczególnych partii stoku, dało podstawę do opisu współczesnego rozwoju stoku.

Słowa kluczowe: rozwój stoków, zlewnia młodoglacjalna, wskaźnik ługowania, wzorce gipsowe

Key words: *development of slopes, post-glacial catchment, leaching index, gypsum standards*

Grażyna Szpikowska, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Stacja Geoekologiczna UAM w Storkowie, Storkowo 32, 78-450 Grzmiąca, e-mail: grania@amu.edu.pl.

1. Wprowadzenie

Badania przekształceń rzeźby terenu na obszarach młodoglacjalnych koncentrują się w zdecydowanej większości na procesach erozji i denudacji mechanicznej. Tymczasem uwzględniając dominację w odpływie ze zlewni rzek Niżu Polskiego ładunku jonowego nad ładunkiem zawiesiny i materiału dennego, uzasadnione jest podejmowanie badań nad wpływem denudacji chemicznej na kształtowanie stoków. Informacje o natężeniu i wielkości denudacji chemicznej stoków młodoglacjalnych są ograniczone do danych pozyskiwanych w zlewniach drenarskich (Stach 2003), z bilansowania transportu jonowego na obszarach źródłiskowych (Stach 1994, Mazurek 1999, Mazurek i in. 2015, Szpikowska 2004) i podczas bezpośrednich pomiarów na stokach (Michalska 2003). Zróżnicowanie wielkości denudacji chemicznej stoków jest uwa-

runkowane litologią, rzeźbą, użytkowaniem ziemi, ale przede wszystkim ilością spływającej wody, jej składem chemicznym i czasem kontaktu z osadami podłoża. Rozpuszczanie osadów zachodzi na każdym etapie krążenia wody na stoku: podczas spływów powierzchniowych, śródpokrywowych, infiltracji i odpływu podziemnego. Dotychczasowe badania wykazują, że spływ powierzchniowy i śródglebowy stanowi w warunkach przeciętnych zaledwie około 1% opadów (Michalska 2003, Szpikowski 2003a). Ten etap krążenia ma jednak decydujące znaczenie dla przemiany składu chemicznego wody opadowej, o czym świadczy wielokrotny wzrost jej mineralizacji podczas kontaktu z osadami utworów powierzchniowych (Szpikowska 2007). Przeprowadzone w zlewni Chwalimskiego Potoku na Pojezierzu Drawskim badania (Szpikowska 2005) wykazały, że 60% ładunku odpływającego ciekami pochodzi z ługowania warstwy gruntu do głębokości 1 m. Do-

tychczasowe modele rozwoju stoków młodoglacjalnych (Stach 2003, Szpikowski 2003b) wskazują na większe natężenie denudacji chemicznej w dolnej, bardziej nawodnionej części stoku. Jednak łączny obraz denudacji stoku (chemicznej i mechanicznej) zależy w dużej mierze od rodzaju użytkowania ziemi.

Celem badań eksperymentalnych podjętych w zlewni Chwalimskiego Potoku było zobrazowanie współczesnych przemian stoków jako efektu ługowania utworów powierzchniowych przez wody krążące w systemie stokowym na obszarze zlewni młodoglacjalnej.

2. Obszar badań

Badania przeprowadzono w zlewni Chwalimskiego Potoku, w dorzeczu górnej Parsęty, na Pojezierzu Drawskim. Zlewnia zajmuje powierzchnię 4,8 ha i jest odwadniana przez ciek o długości wynoszącej od źródła do przelewu zamykającego 215 m. Jest to obszar źródłiskowy stanowiący podsystem zlewni Młyńskiego Potoku – lewobrzeżnego dopływu górnej Parsęty. Zlewnia Chwalimskiego Potoku do początku lat dziewięćdziesiątych była intensywnie uprawiana rolniczo. W okresie prowadzenia eksperymentu uprawy zajmowały 10% jej powierzchni.

Jednymi z ważniejszych uwarunkowań przestrzennego różnicowania procesów denudacji chemicznej są litologia i pokrywa glebowa. Podłożem obszaru zlewni Chwalimskiego Potoku są utwory bezpośredniej akumulacji łądolodu – gliny morenowe. Zalegają na głębokości od 70 cm do 8,5 m poniżej poziomu terenu. Na glinie morenowej spoczywają różnoziarniste piaski o miąższości maksymalnej około 8 m, a w części centralnej zlewni – około 2 m. W warstwie tej na różnych głębokościach występują soczewki żwirowe. Na glinie, w poziomie piaszczysto-żwirowym, zalega podstawowa warstwa wód gruntowych, z powierzchnią na średniej głębokości od prawie 5 m w wododziałowej części zlewni na południowym zachodzie do 4,5 m na pagórku w północnej części zlewni. Badania współczynnika filtracji, wykonane przez Marciniaka i Stelmacha (1992), świadczą o bardzo wysokiej wodoprzepuszczalności tego poziomu wodonośnego, ze średnim współczynnikiem filtracji $3,21 \text{ m h}^{-1}$. Charakterystycznym elementem litologii środkowej i północnej części zlewni jest warstwa piasków gliniastych o miąższości około 40 cm, zalegających na głębokościach od 0,6 m do 1,6 m. W części prawobrzeżnej na tej słabo przepuszczalnej warstwie utrzymuje się zwierciadło wód zaskórnych. Współczynnik filtracji dla osadów związanych z obniżeniem wytopiska i formą dolinną, wynosi średnio $0,1 \text{ m h}^{-1}$.

Zróżnicowana litologia zlewni i związane z nią skomplikowane warunki krążenia wody doprowadziły do

wykształcenia urozmaiconej pokrywy glebowej. Marcinek i Komisarek (1998) wyróżnili tu 5 typów gleb. Na wzniesieniu w części południowo-zachodniej i niewielkim skrawku w części północnej występują gleby rdzawe właściwe o gatunku piasków słabo gliniastych płytkich zalegających na piaskach luźnych (R1) lub piasków gliniastych płytkich zalegających na piaskach luźnych (R2). Gleby te wykazują nadmierne, naturalne warunki drenażu. Stoki prostopadłe do koryta Chwalimskiego Potoku zajmują płaty gleb płowych wyodrębnionych przez Marcinka i Komisarek (1998) w nowy podtyp – gleby płowe zaciekowe gruntowo-glejowe Pz2, które zalegają na glinie i wykazują uziarnienie piasków gliniastych lekkich. Z częścią dolinną zlewni związane są gleby torfowo-murszowe M1 (torfy mocno rozłożone zamulone zalegające na piasku luźnym) i gleby gruntowo-glejowe właściwe G2 o gatunku piasków gliniastych lekkich. Utwory te zalegają na piasku luźnym. Spłaszczenie na stoku w części południowo-zachodniej oraz podnóże stoku zajmują gleby deluwialne próchniczne D2 ukształtowane w wyniku depozycji materiału erodowanego. Są to piaski gliniaste lekkie średnio głębokie zalegające na glinach. Gleby zlewni Chwalimskiego Potoku wykazują duże zróżnicowanie zasobności w składniki łatwo podlegające ługowaniu (Szpikowska 2006).

3. Metodyka badań

Celem zobrazowania współczesnych przemian stoków na obszarze młodoglacjalnym przeprowadzono eksperyment terenowy z użyciem wzorców skalnych. Jest to sprawdzona metoda wykorzystywana przy określaniu natężenia ługowania (Crabtree i Trudgill 1984b, Gams 1981, Pulina 1999, Szpikowska 2009, Young 1972) i stosowana generalnie w badaniach rozwoju stoków.

Wzorce przygotowano przez wypełnienie płynnym gipsem plastikowych szalek Petriego o średnicy 10 cm. Po zestaleniu gipsu powierzchnię wzorców wyrównano drobnoziarnistym papierem ściernym. Krążki wysuszone w temperaturze 105°C do stałej masy.

W wybranych punktach zlewni Chwalimskiego Potoku wykonano wkopy o wymiarach: długość – 50 cm, szerokość – 30 cm, głębokość – 50 cm. W dłuższej ścianie wkopu za pomocą metalowego pierścienia o średnicy 10 cm wycinano na głębokości ok. 20 cm dwa wgłębienia oddalone od siebie o 5 cm w poziomie (fot. 1). W przygotowane otwory wkładano wzorce gipsowe w taki sposób, aby ścianka gipsowa wzorca stykała się z nienaruszoną powierzchnią gruntu, po czym wkop zasypywano. Wybrana metoda montażu wzorców w gruncie minimalizowała wpływ naruszenia podłoża na migrację wody i tym samym na intensywność ługowania. W opisany sposób

umieszczono na terenie zlewni 204 wzorce w 102 punktach. Punkty zniwelowano. Do celów niniejszego opracowania wytypowano 64 lokalizacje wzorców, składające się na 11 profilów stokowych: 5 profilów w górnej części zlewni, 4 w części lewobrzeżnej i 2 w części prawobrzeżnej (ryc. 1, ryc. 2).



Fot. 1. Sposób umieszczenia wzorców gipsowych w podłożu na terenie zlewni Chwalimskiego Potoku (fot. G. Szpikowska)

Photo 1. The method of placing gypsum standards in the near-surface layer of the soil in the Chwalimski Potok catchment (photo. by G. Szpikowska)

Przy wyborze miejsc i sposobu umieszczenia wzorców w terenie kierowano się następującymi przesłankami:

1) lokalizacja wzorców powinna gwarantować nie naruszalność w czasie trwania eksperymentu,

2) uwzględniając rzeźbę terenu i sposób krążenia wody, wzorce rozmieszczono w transektach biegnących od wododziału w kierunku dolinki Chwalimskiego Potoku (prostopadle do poziomic),

3) wzorce umieszczono w gruncie w taki sposób, aby ich czynna powierzchnia mogła się kontaktować zarówno z wodą infiltrującą, jak i spływającą śródpokrywowo, czyli pionowo i równoległe do hipotetycznego śródpokrywowego spływu wody.

Wzorce pozostawały w podłożu od początku kwietnia 2003 roku do końca marca 2004 roku. Po wyjęciu z gruntu wysuszono je w temperaturze pokojowej, oczyszczono z cząstek gruntu i roślin, a następnie wysuszono w temperaturze 105°C do stałej masy.

Po zważeniu wzorców obliczono średni procentowy ubytek masy gipsu w każdym punkcie. Wskaźnik intensywności ługowania wyznaczono jako stosunek ubytku masy w danym punkcie do największego ubytku masy przyjętego za 100, co zapewniło porównywalność wyników.

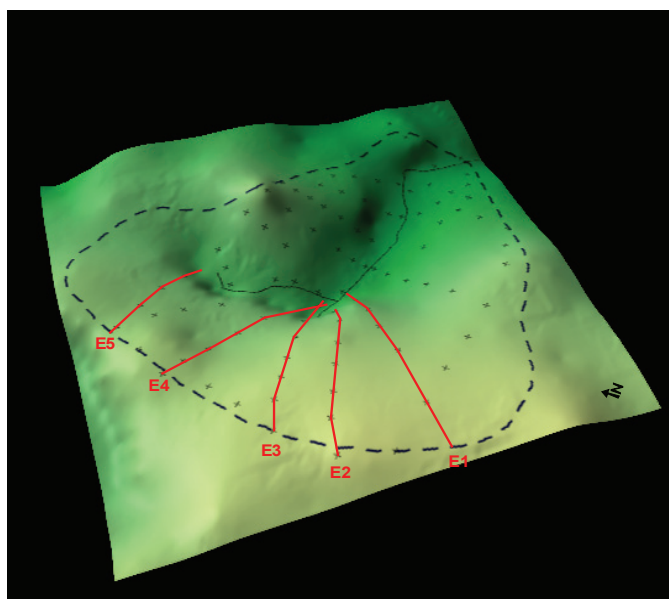
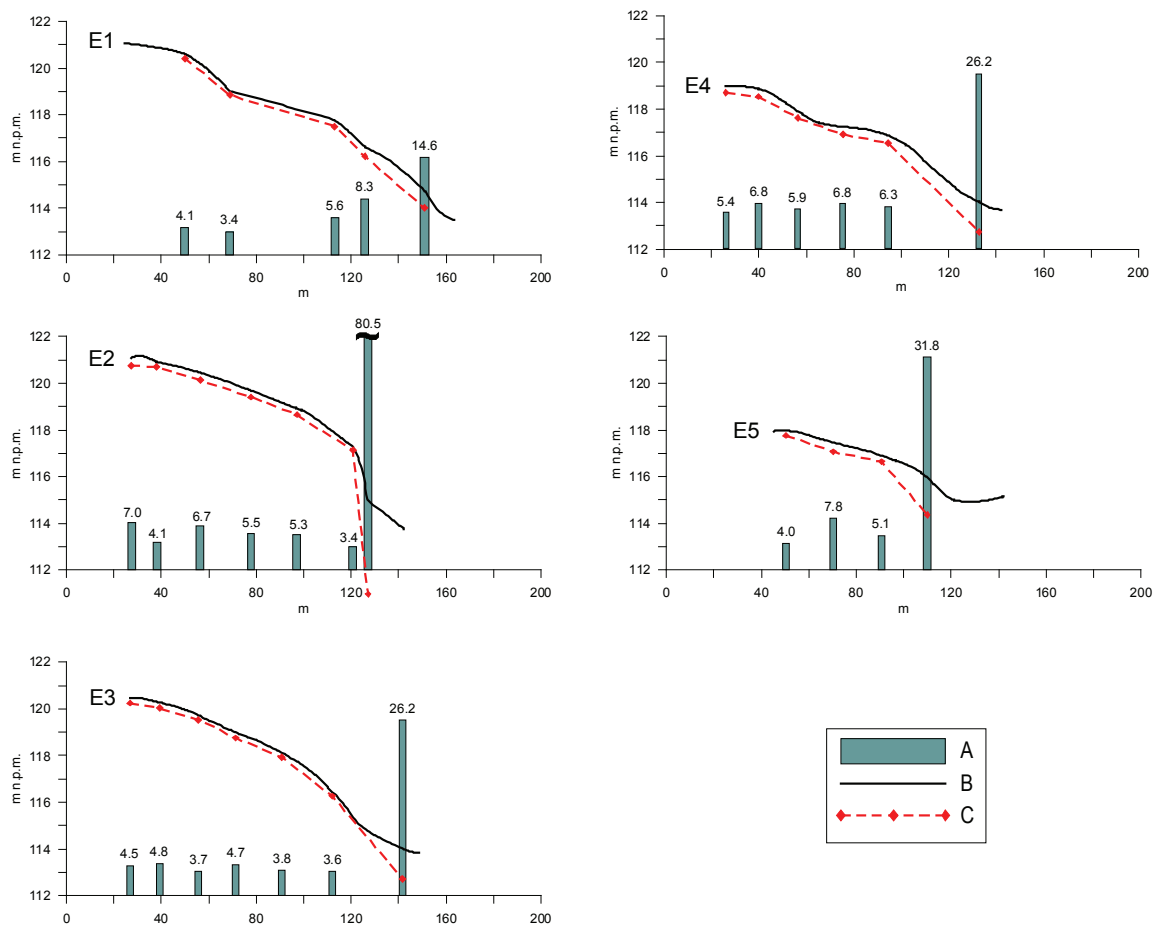
4. Wskaźnik ługowania utworów powierzchniowych w profilach stokowych

Uzyskane w eksperymencie wartości wskaźnika ługowania pozwoliły na zobrazowanie przestrzennego zróżnicowania intensywności procesów denudacyjnych w skali niewielkiej zlewni źródłiskowej (Szpikowska 2009). Zwracają uwagę wyraźne strefy intensywnego ługowania podłoża, związane z fragmentami zlewni o wysokim poziomie wód podziemnych: zagłębienie wytopiskowe w centrum zlewni, niszę źródłiskową i strefy przykorytowe, zarówno cieku głównego, jak i jego dopływu.

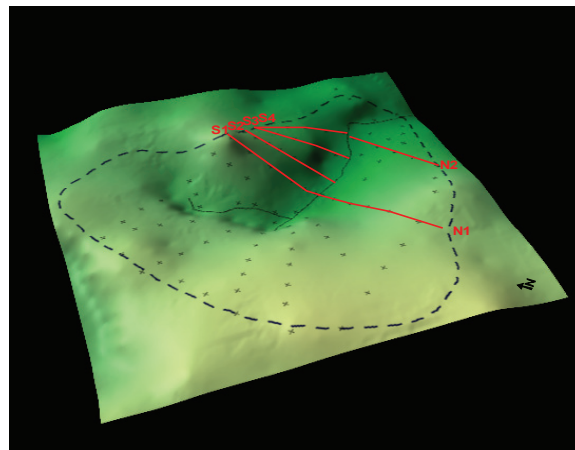
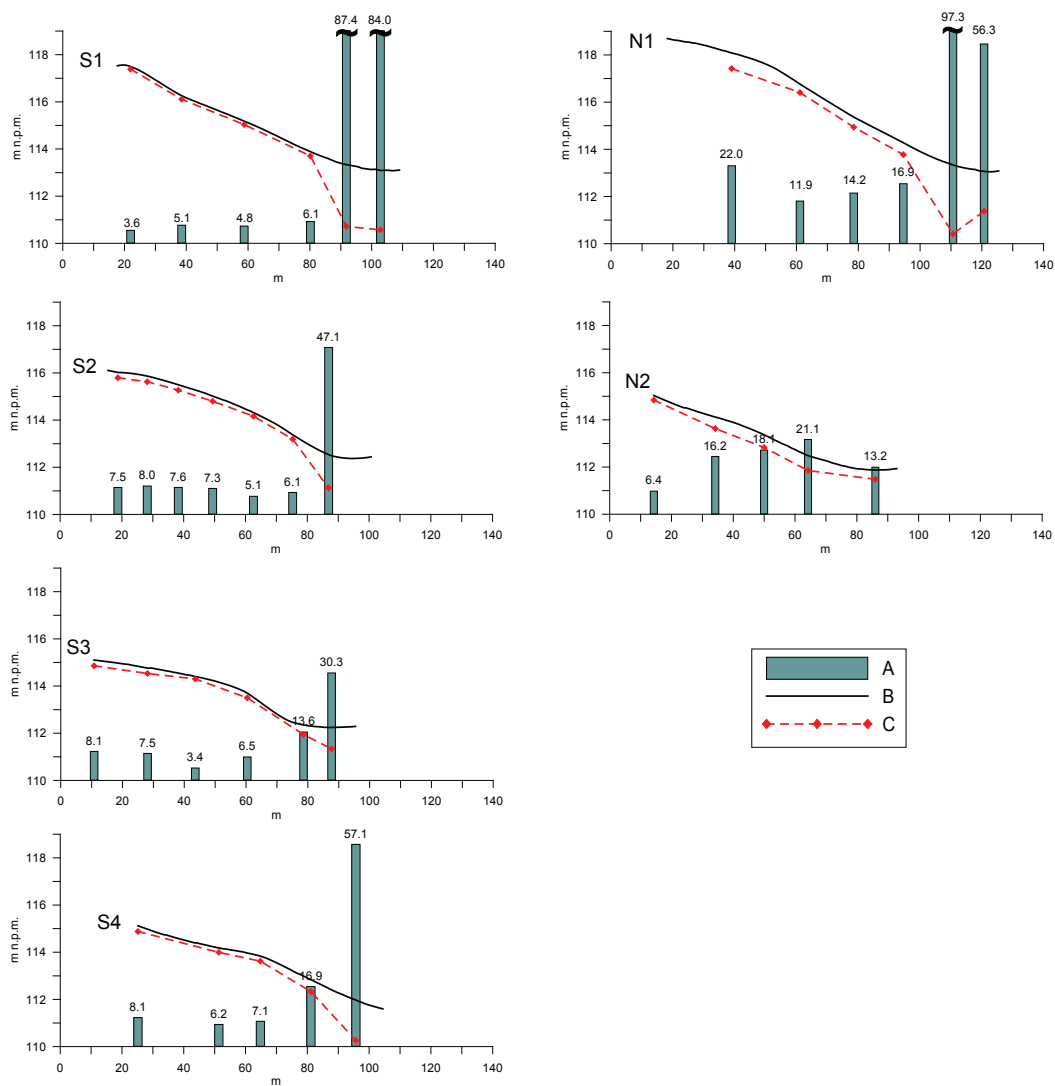
Przestrzennie zróżnicowana wielkość wskaźnika ługowania utworów powierzchniowych zlewni odzwierciedla wpływ ilości wody na intensywność procesów denudacyjnych. Największa ilość materiału skalnego przechodzi do roztworu w przypadkach okresowego pełnego nasycenia gruntu wodą, w dalszej kolejności – przy wysokim uwilgotnieniu gruntu w wyniku bliskości zwierciadła wód podziemnych. Należy też podkreślić rolę raczej krótkotrwałych epizodów ługowania pod wpływem intensywnego przepływu wody (spływ śródglebowy makroporami), w wyniku których może być usuwana znaczna ilość materiału. Z kolei proces ługowania jest mało efektywny w przypadku utworów o wysokiej wodoprzepuszczalności.

Szczegółowa analiza wielkości wskaźnika ługowania w wybranych profilach stokowych zlewni Chwalimskiego Potoku pozwoliła na rozpoznanie współczesnego rozwoju stoków. W górnej części zlewni stoki mają profil podłużny wypukły. Budują je utwory piaszczysto-żwirowe, w których dominującą formą transportu wody jest filtracja pionowa, w związku z tym poszczególne partie stoku otrzymują wodę w jednakowych ilościach. Tym samym, w większości przypadków, wskaźnik ługowania wzdłuż profilu stoku jest słabo zróżnicowany i dopiero w dolnej partii, stanowiącej krawędź niszy źródłiskowej lub jej dno, następuje wzrost ługowania, warunkowany zwiększeniem ilości wody (profile E2, E3, E4 – ryc. 1). W konsekwencji można się spodziewać jednakowego obniżania powierzchni stoku wzdłuż profilu z wyjątkiem podnóża, gdzie tempo ługowania jest znacznie szybsze. Ostatecznie zostaje zachowany wypukły kształt stoków E2, E3 i wypukło-wklęsło-wypukły stoku E4, przy zwiększaniu nachylenia w dolnej części profilu.

Stok schodzący do zagłębienia wytopiskowego w północno-zachodniej części zlewni (transekt E5, ryc. 1) charakteryzuje się profilem podłużnym wypukłym i niewielkim nachyleniem. Najsilniej ługowanym fragmentem jest podnóże (krawędź wytopiska), gdzie gleby rdzawe przechodzą w deluwialne i, jak można



Ryc. 1. Przewidywane zmiany wybranych profili stoków górnej części zlewni Chwalimskiego Potoku na tle wskaźnika ługowania: A – wskaźnik ługowania, B – profil stoku, C – zmieniony profil stoku. Przewidywany rozwój stoków wykreślono na podstawie obliczonego obniżenia powierzchni proporcjonalnego do wartości wskaźnika ługowania Fig. 1. Expected changes of selected slope profiles of the upper part of the Chwalimski Potok catchment against the background of the leaching index: A – leaching index, B – slope profile, C – changed slope profile. The expected development of the slopes is plotted on the basis of the calculated reduction of the area proportional to the value of the leaching index



Ryc. 2. Przewidywane zmiany wybranych profili stokowych lewo- i prawobrzeżnej części zlewni Chwalimskiego Potoku na tle wskaźnika ługowania: A – wskaźnik ługowania, B – profil stoku, C – zmieniony profil stoku. Przewidywany rozwój stoków wykreślono na podstawie obliczonego obniżenia powierzchni proporcjonalnego do wartości wskaźnika ługowania

Fig. 2. Expected changes of selected slope profiles of the left- and right-bank part of the Chwalimski Potok catchment against the background of the leaching index: A – leaching index, B – slope profile, C – changed slope profile. The expected development of the slopes is plotted on the basis of the calculated reduction of the area proportional to the value of the leaching index

sądzić na podstawie sposobu degradacji powierzchni wzorców, zachodzi spływ śródglebowy w makroporach. Najniższym wskaźnikiem ługowania objęta jest wierzchovina, prawie dwukrotnie wyższym – środkowa część zbocza. Przy takim zróżnicowaniu można się spodziewać zmiany profilu stoku na prostoliniowy czy wklęsło-wypukły.

Stok wyznaczony przez transekt E1 w górnej części jest wypukły, w środkowej części zaznacza się słabo nachylone spłaszczenie i w dolnym fragmencie prostoliniowy odcinek o większym nachyleniu. Wskaźnik ługowania rośnie w dół profilu (ryc. 1). W tym przypadku proces ługowania sprzyja spłaszczaniu części wierzchwinowej i zwiększaniu nachylenia obydwu odcinków prostoliniowych. Położenie transektu E1 na granicy płatów gleb rdzawych i płowych sprawia, że typ zmienności wskaźnika ługowania w profilu wykazuje podobieństwo do zmian charakterystycznych dla stoków prawobrzeżnej części zlewni, gdzie litologia wymusza zupełnie inny sposób migracji wody.

W obydwu transektach stoków prawobrzeżnej części zlewni (ekspozycja N) obserwuje się wzrost wskaźnika ługowania w dół profilu (ryc. 2), warunkowany kumulacją wody spływającej śródpokrywowo na warstwach słabo przepuszczalnych. Wyjątkowo, w przypadku transektu N1, najwyższy wskaźnik w profilu (poza częścią dolną stoku) jest związany z wierzchową. Ciekawe, że wskaźnik ługowania dolnych fragmentów stoków wykazuje znacząco wyższe wartości u podnóża niż w bliskim sąsiedztwie koryta cieku (odpowiednio 97,3 i 56,3 w transekcie N1 i 21,1 i 13,2 w transekcie N2), co może oznaczać, że większe znaczenie dla ługowania ma woda często spływająca śródglebowo niż okresowo zatapiająca strefę dolinną. Wartości wskaźnika ługowania wskazują na przekształcanie wypukło-wklęsłego stoku N1 na wypukły oraz na zwiększanie nachylenia prostoliniowego stoku N2.

W profilach stokowych lewobrzeżnej części zlewni (ekspozycja S) charakterystyczne są wysokie wartości wskaźnika ługowania u podnóża stoku (strefa dolinna). Z kolei od wierzchoviny w dół stoku można zauważyć wzrost wartości w przypadku transektu S1 oraz najpierw spadek, a następnie wzrost – w przypadku transektów S2, S3 i S4, jednak zróżnicowanie to, w zestawieniu z bardzo dużymi wartościami u podnóża, jest znikome (ryc. 2). O rozkładzie wielkości ługowania decyduje tu dystrybucja wody. Zdecydowana jej większość, podobnie jak na stokach z glebami rdzawymi właściwymi, dzięki dobrym warunkom drenażu, filtruje pionowo. Potwierdzają to wyniki eksperymentu przeprowadzonego w tej części zlewni na powierzchni testowej z łąką (Szpikowski – materiały niepublikowane), wykazujące,

że opad o intensywności $2,16 \text{ mm min}^{-1}$ wywołuje spływ powierzchniowy oraz spływ śródglebowy do głębokości 40 cm o wydajnościach odpowiednio 2 i 2,7% dostarczonej wody, natomiast pozostała część (ponad 95%) filtruje pionowo lub podlega retencji. W warunkach naturalnych efektywność spływu powierzchniowego i śródglebowego w tym miejscu jest jeszcze niższa, dopiero w sprzyjających warunkach pogodowych (podczas intensywnych roztopów i opadów) znacząco rośnie (Michalska 2003). Wielkość ługowania poszczególnych partii stoku określona wskaźnikiem ługowania implikuje zachowanie dotychczasowego kształtu stoków S1, S2, S3 (odpowiednio: prostoliniowego, wypukłego i prostoliniowo-wypukłego) z jednoczesną zmianą profilu dolnego fragmentu na wypukły oraz przekształcanie wklęsło-wypukło-wklęsłego profilu stoku S4 w profil wypukły.

Zauważa się odmiennność wielkości wskaźnika ługowania dla obszaru lewo- i prawobrzeżnej zlewni. Stoki po obu stronach cieku zajmują te same gleby – płowe zaciekowe gruntowo-glejowe, natomiast czynnikiem różnicującym jest ekspozycja. Dobrze uwilgotniony stok o ekspozycji północnej wykazuje wartości wskaźnika ługowania w zakresie 2,3–29,2 (średnio 14,7), stoki o ekspozycji południowej charakteryzują wskaźniki denudacji w zakresie 2–8,1 (średnio 5,8). Dodatkowym czynnikiem podwyższającym uwilgotnienie stoku w prawobrzeżnej części zlewni, i tym samym intensywność ługowania osadów, jest litologia. Występujące na niewielkiej głębokości piaski gliniaste i miejscami glina są barierą dla wód infiltrujących, co pozwala na powstanie płytko pod powierzchnią gruntu zwierciadła wód zaskórnych. Średni poziom ich zalegania w latach hydrologicznych 2000–2003 wynosi 59 cm p.p.t., a maksymalny osiąga poziom terenu. Należy podkreślić wysoką frekwencję wód zaskórnych w tej części zlewni: w ciągu czterech lat obserwacji na 181 pomiarów tylko w trzech przypadkach nie stwierdzono występowania tego poziomu wodonośnego.

5. Dyskusja

Przeprowadzony w zlewni Chwalimskiego Potoku eksperyment jest obciążony pewnymi ograniczeniami interpretacji, związanymi z przyjętą metodyką badawczą.

Umieszczenie wzorców gipsowych w wierzchniej warstwie gruntu nie odzwierciedla w pełni oddziaływania wód krążących w systemie stokowym. Doświadczenie Matsukury i Hirose (1999) wykazało zróżnicowanie natężenia ługowania w zależności od warunków wietrzenia związanych z umiejscowieniem wzorca

w profilu pionowym (powierzchnia gruntu, warstwa próchniczna gleby, strefa aeracji, strefa saturacji).

Natężenie ługowania jest też uzależnione od materiału wzorca skalnego (Matsukura i Hirose 1999), stąd użycie gipsu nie oddaje w pełni erozyjnego oddziaływania wody krążącej w systemie stokowym.

W modelach rozwoju stoków podkreśla się rolę zróżnicowania agresywności wód w profilu podłużnym stoku. Brane są pod uwagę różne założenia wyjściowe. Carson i Kirkby (1972) przyjmują, że agresywność wód maleje w dół stoku w wyniku rozpuszczania i parowania. Według Stacha (2003) przy dominacji wertykalnego ruchu wody agresywność wód jest wyrównana na wierzcholinie i zboczu, natomiast minimalna u podnóża. W modelu rozwoju stoku przedstawionym przez Burta i Butchera (1986) bierze się pod uwagę różne warianty: agresywności wyrównanej w profilu, malejącej wprost proporcjonalnie do spadku, malejącej wykładniczo. Użyty do celów eksperymentu w zlewni Chwalimskiego Potoku materiał wzorców skalnych (gips) wyklucza interpretację zmienności wskaźnika ługowania pod kątem agresywności krążących wód, ponieważ rozpuszczalność gipsu nie jest warunkowana tym czynnikiem. Doświadczenia Crabtree'ego i Trudgilla (1984a), Kuechlera i in. (2004)

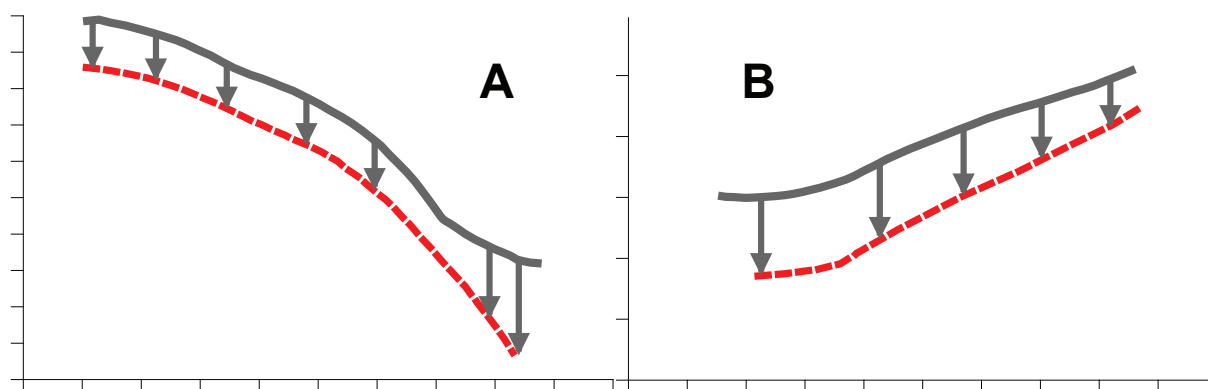
wykazały, że ubytek masy krążków gipsowych rośnie ze wzrostem przepływu wody, natomiast dopiero zakwaszenie wyrażone wartością pH poniżej 3 zwiększa rozpuszczalność gipsu (Crabtree i Trudgill 1984a).

Wyniki eksperymentu w zlewni Chwalimskiego Potoku zobrazowały przestrzenne zróżnicowanie wielkości wskaźnika ługowania uchwyczone w skali stoku, ale kształtowane jedynie przez ilość wody kontaktującej się z osadem.

6. Podsumowanie

Zróżnicowana litologia i pokrywa glebowa w młodoglacjalnej zlewni Chwalimskiego Potoku, wpływając na sposób migracji wody, różnicuje intensywność procesów ługowania i tym samym rozwój stoków. Rozliczność przypadków rozwoju stoku omówionych wyżej wynika zarówno z warunków krążenia wody jak i odmienności profilu wyjściowego. Przy rozmaitych wariantach rozwoju rzeźby, można wskazać na następujące prawidłowości (ryc. 3), nawiązujące do współczesnych modeli rozwoju stoku pod wpływem procesu ługowania (Burt i Butcher 1986, Stach 2003, Szpikowski 2003b):

– dobre warunki drenażu gleb sprzyjające pionowej filtracji wody na stoku sprawiają, że wyrównana inten-



Ryc. 3. Model morfodynamiczny stoku w zależności od warunków drenażu

Wariant A – stok o dobrych warunkach drenażu – dominuje pionowa filtracja wody, wyrównane ilości wody wzdłuż profilu i większa ilość u podnóża – wyrównane natężenie ługowania wzdłuż profilu stoku i intensywne ługowanie u podnóża – zachowanie kształtu stoku przy zwiększeniu nachylenia dolnego odcinka;

Wariant B – stok z płytko zalegającymi utworami trudno przepuszczalnymi – stagnowanie wód zaskórnych i występowanie splotu śródglebowego – kumulacja wody w dół profilu stoku – intensyfikacja ługowania w dół profilu stoku – zwiększenie nachylenia stoku prostoliniowego

Fig. 3. Morphodynamic model of the slope depending on the drainage conditions

A – slope with good drainage conditions – dominated by vertical filtration of water, even amounts of water along the profile and more at the slope-foot – leveled leaching along the slope profile and intensive leaching at the slope-foot – maintaining the shape of the slope while increasing the slope of the lower section;

B – slope with shallowly deposited hardly permeable formations – stagnation of coastal waters and occurrence of subsurface flow – accumulation of water down the slope profile – intensification of leaching down the slope profile – increase of hillside of rectilinear slope

sywność ługowania umożliwia zachowanie dotychczasowego kształtu stoku,

– płytko zalegające utwory słabo przepuszczalne, sprzyjając stagnowaniu wód zaskórnych bądź spływom śródglebowym, intensyfikują ługowanie w dół profilu stoku, co prowadzi do zwiększenia nachylenia stoku prostoliniowego i zmiany wypukło-wklęsłego profilu stoku na wypukły,

– stoki zimne i tym samym silniej uwilgotnione podlegają szybszej degradacji w porównaniu z ciepłymi,

– okresowa saturacja stref obniżeń terenowych oraz intensywne spływy śródglebowe makroporami na krańcach obniżeń wywołują intensywne ługowanie podnóży stoków, zwiększając tym samym kontrast rzeźby.

Przeprowadzony eksperyment terenowy z użyciem wzorców gipsowych umożliwił wnioskowanie o współczesnym rozwoju stoków na obszarze młodoglacjalnym w wyniku ługowania z uwzględnieniem wpływu ilości i sposobu krążenia wody w systemie stokowym. Uzyskanie pełnego obrazu ewolucji stoków pod wpływem procesów fizykochemicznych wymaga doboru odpowiednich rozwiązań metodycznych, które uwzględnią wpływ innych uwarunkowań procesu ługowania w obrębie systemu stokowego.

7. Literatura

- Burt T.P., Butcher D.P., 1986:** Development of topographic indices for use in semi-distributed hillslope runoff models. *Z. Geomorph. Suppl.* 58: 1-19.
- Carson M.A., Kirkby, M.J., 1972:** Hillslope Form and Process. Cambridge Geographical Studies No. 3, Cambridge University Press.
- Crabtree R.W., Trudgill S.T., 1984a:** The use of gypsum spheres for identifying water flow routes in soils. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 9: 25-34.
- Crabtree R.W., Trudgill S.T., 1984b:** Two Micro-weight Loss Techniques for use in Hillslope Solute Studies. *British Geomorphological Research Group, Technical Bulletin No.* 32.
- Gams I., 1981:** Comparative research of limestone solution by means of standard tablets. *Proc. 8th Int. Congr. Speleol.* Bowling Green, Kentucky 1: 273-275.
- Kuechler R., Noack K., Zorn T., 2004:** Investigation of gypsum dissolution under saturated and unsaturated water conditions. *Ecological Modelling* 176: 1-14.
- Marcinek J., Komisarek J., 1998:** Badania gleboznawcze nad zróżnicowaniem pokrywy glebowej w obrębie powierzchni testowej ZMŚP w Storkowie. W: A. Kostrzewski (red.) ZMŚP, Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geosystemów Polski, *Bibl. Monitoringu Środowiska*, Warszawa, 31-50.
- Marciniak M., Stelmach M., 1992:** Badanie współczynnika filtracji metodą PARAMEX w rejonie Stacji Badawczej w Storkowie. *Poznań. Bibl. Stacji Geoekologicznej UAM w Storkowie.*
- Matsukura Y., Hirose T., 1999:** Five year measurements of rock tablet weathering on a forested hill-slope in humid temperate region. *Engineering Geology* 55: 69-76.
- Mazurek M., 1999:** Solute transport as an indicator of morphodynamic zonation in a postglacial environment, West Pomerania, Poland. *Earth Surf. Proc. Landf.*, 24: 1121-1134.
- Mazurek M., Kruszyk R., Szpikowska G., 2015:** Role of channel heads in determining water chemistry. *Prace Geograficzne*, 143: 47-64.
- Michalska G., 2003:** Dynamika śródpokrywowego spływu wody i substancji rozpuszczonych podczas intensywnych roztopów i opadów (zlewnia Chwalimskiego Potoku, górna Parsęta). W: W. Bochenek, E., Gil (red.) ZMŚP, Funkcjonowanie i monitoring geosystemów Polski ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk ekstremalnych, *Bibl. Monitoringu Środ.*, 63-70.
- Pulina M., 1999:** Kras. Formy i procesy. *Wyd. Uniwersytetu Śląskiego*, Katowice.
- Stach A., 1994:** Charakter krążenia a jakość wód w użytkowanej rolniczo mikrozelewni na obszarze młodoglacjalnym. W: A. Kostrzewski (red.) Stacja Bazowa Storkowo. *Bibl. Monit. Środ.*, Warszawa, 149-164.
- Stach A., 2003:** Uwarunkowania i funkcjonowanie procesów denudacji chemicznej mikrozelewni na obszarze młodoglacjalnym i ich wpływ na morfodynamikę stoków (zlewnia górnej Parsęty, Pomorze Zachodnie), UAM w Poznaniu, *Ser. Geografia Nr 67*, *Wyd. Nauk. UAM*, Poznań.
- Szpikowska G., 2004:** Jakość i rola opadów atmosferycznych w systemie denudacyjnym zlewni młodoglacjalnej (Chwalimski Potok, górna Parsęta). W: M. Kejna, J. Uscka (red.) ZMŚP Funkcjonowanie i monitoring geosystemów w warunkach narastającej antropopresji. *Bibl. Monitoringu Środ.*, 167-176.
- Szpikowska G., 2005:** Jakość wód infiltrujących jako wyznacznik intensywności ługowania gleb (zlewnia Chwalimskiego Potoku, górna Parsęta). W: A. Kostrzewski, R. Kolander (red.) ZMŚP Funkcjonowanie geosystemów Polski w warunkach zmian

- klimatu i różnokierunkowej antropopresji, *Bibl. Monitoringu Środ.*, Poznań, 167-181.
- Szpikowska G., 2006:** Uwarunkowania glebowo-litologiczne denudacji chemicznej zlewni Chwalimskiego Potoku (górną Parsętą). W: L. Krzysztofiak (red.) *ZMŚP Funkcjonowanie i monitoring geosystemów Polski w warunkach narastającej antropopresji. Bibl. Monitoringu Środ.*, 145-154.
- Szpikowska G., 2007:** Transformacja cech fizykochemicznych wody w profilu atmosfera - strefa aeracji - strefa saturacji (zlewnia Chwalimskiego Potoku, górną Parsętą). W: A. Kostrzewski, A. Andrzejewska (red.) *ZMŚP Program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego a zadania ochrony obszarów Natura 2000. Bibl. Monitoringu Środowiska, Warszawa*, 227-239.
- Szpikowska G., 2009:** Spatial differences in the intensity of leaching in the geocosystem of a post-glacial catchment (Chwalimski Potok, upper Parsęta). *Questiones Geographicae, Special Issue; 28A/1*: 75-82.
- Szpikowski J., 2003a:** Mechanizm splywu i splukiwania na stokach użytkowanych rolniczo w zlewni górnej Parsęty. W: A. Kostrzewski, J. Szpikowski (red.) *Funkcjonowanie geosystemów zlewni rzecznych 3. Obieg wody, uwarunkowania i skutki w środowisku przyrodniczym*, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań, 261-277.
- Szpikowski J., 2003b:** Contemporary processes of soil erosion and the transformation of the morphology of slopes on agricultural use in the postglacial catchment of the Chwalimski Potok (Upper Parsęta, Drawskie Lakeland). *Questiones Geographicae, 22*: 79-90.
- Young A., 1972:** *Slopes*. Longman, London.

FORMING SLOPES
IN A POST-GLACIAL CATCHMENT
(CHWALIMSKI POTOK, UPPER PARSEŃTA)

Summary

The study analyzed the impact of slope exposure, gradient and altitudes on changes in land use and land cover in the small Carpathian catchment (Bystrzanka). The studies has shown the typical changes observed in other areas of the Beskid Mts. (Western Carpathians), ie. a decrease in arable land area and an increase in grasslands and forest area (in the period 1969–2010). There has been observed a direct relationship between the slope and forest area, and vice versa in the cultivated land. In addition, in 2010, in all altitudes ranges observed increase of forest and grassland areas (especially of old areas agriculture used) and a decrease in arable land. There were no clear effect of slope exposure on land use changes in last 40 years.