

OCENA STOPNIA ZAMULENIA MAŁEGO ZBIORNIKA WODNEGO NA TŁE
PROCESÓW DENUDACYJNYCH W ZLEWNI LESSOWEJ

Tadeusz Bednarczyk, Czesław Lipski, Marek Madeyski

Zakład Budownictwa Wodnego AR w Krakowie

Kierownik: prof. dr hab. H. Gładki

Zakład Zaopatrzenia Osiedli w Wodę i Kanalizację AR w Krakowie

Kierownik: doc. dr hab. W. Tylek

Intensywny rozwój rolnictwa wymagać będzie uregulowania stosunków wodnych na obszarach rolniczych. Zbiorniki wodne budowane do celów rolniczych w zlewniach o znacznej erozji ulegać będą zamuleniu. Dotychczas brak jest badań nad zamulaniem tych zbiorników, zwłaszcza w powiązaniu ze zjawiskami warunkującymi ten proces na obszarze zlewni. Niniejsze opracowanie, oparte na wieloletnich badaniach, stanowi przyczynek do poznania procesu zamulania małych zbiorników.

Projektowanie zbiorników wodnych i prognozowanie ich zamulenia powinno być realizowane równolegle z projektem zabudowy biologicznej, co na ogół nie jest praktykowane. Równocześnie zagadnienie to należy opracowywać z uwzględnieniem ogółu czynników środowiska geograficznego warunkujących proces erozji.

Podstawowym czynnikiem, który decyduje o prawidłowości pracy zbiorników wodnych jest intensywność ich zamulenia, która uzależniona jest od natężenia procesów denudacyjnych występujących w zlewni. Proces ten jest szczególnie niekorzystny w przypadku zbiorników służących celom rolniczym, ponieważ struktura upraw może w pewnych okresach sprzyjać intensywniej erozji.

Metodami empirycznymi dokonano próby oceny stopnia załadownienia małego zbiornika na tle procesów denudacyjnych zachodzących w zlewni lessowej.

CHARAKTERYSTYKA ZLEWNI BADAWCZEJ

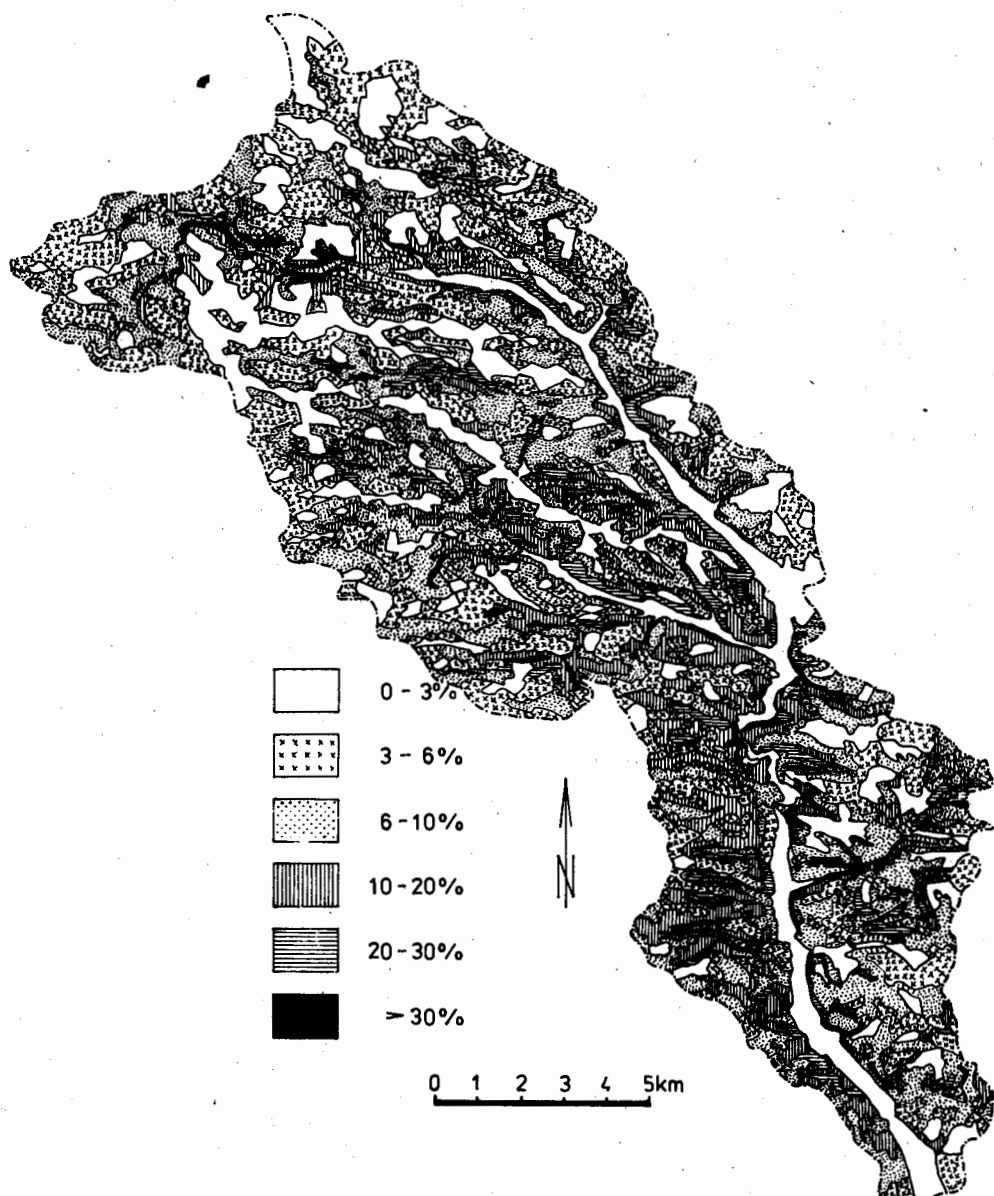
G e o l o g i a. Badania przeprowadzono w dorzeczu Dłubni, lewobrzeżnym dopływie górnej Wisły.

Dorzecze Dłubni budują utwory jurajskie, kredowe, trzeciorzędowe i czwartorzędowe. Poziom najniższy stanowią margle, przechodzące ku górze w wapienie płytowe, zawierające znaczne ilości części ilastych. Zachodnią część omawianego obszaru budują utwory górnej jury. Najwyżej leżące utwory kredowe są bardzo silnie zwietrzałe i tworzą rumosz o miąższości 2 m. W miarę wzrostu głębokości, rumosz przechodzi w skałę bardzo silnie pociętą szczelinami wietrzeniowymi, głębiej zaś - w skałę uszczelinioną. Tak zarysowany profil pionowy jest dogodny do wsiąkania wody w głąb. Poniżej sieci szczelin wietrzeniowych występują szczeliny ciosowe i tektoniczne. Utwory trzeciorzędowe reprezentują iły i piaski tortońskie. Less pokrywa utwory kredowe prawie na całym obszarze dorzecza Dłubni warstwą o miąższości do 15 m. W zachodniej części zlewni, na utworach jurajskich miąższość ta jest niewielka. Na całym obszarze znajduje się około 160 źródeł zasilanych z podziemnych zbiorników wodnych, występujących w wapieniach i marglach [4].

R z e ź b a. Dorzecze Dłubni zajmuje obszar należący na zachodzie do Wyżyny Krakowskiej, a na wschodzie do Wyżyny Miechowskiej. Jest to obszar o łagodnym nachyleniu w kierunku południowo-wschodnim. Najwyższe wzniesienia, dochodzące do 460 m n.p.m., występują w północno-zachodniej części opisywanego obszaru. Źródła rzeki natomiast znajdują się na wysokości 417 m n.p.m. Najniższym punktem badanego obszaru zlewni jest próg jazu na zbiorniku w Zesławicach, którego rzędna wynosi 211,8 m n.p.m. Omawiany obszar pocięty jest gęstą siecią dolin, których większość powstała z dyslokacji tektonicznych. Nachylenie zboczy jest różne; szczególnie strome zbocza wykształcone są w odpornym wapieniu jurajskim i w lessie. Zbocza kredowe są łagodniejsze. Stosunki nachyleń zboczy terenu ilustruje mapa spadków, opracowana zgodnie ze skalą spadków Figuły [5], przedstawiona na rysunku 1. Procentowy rozkład nachyleń w dorzeczu Dłubni przedstawia tabela 1.

Z przytoczonego zestawienia wynika, że spadki zlewni zasadniczo zamykają się w przedziale 0-10%, co stanowi 82,7% powierzchni zlewni. W omawianej zlewni dominują gleby wytworzone z lessów, zmywane już przy spadkach 3%, dlatego można przyjąć, że większość obszaru narażona jest na erozję powierzchniową.

G l e b y. Większość powierzchni dorzecza zajmują gleby wytworzone z lessów. Są to przeważnie czarnoziemny zdegradowane i gleby brunatne właściwe. W górnym dorzeczu Dłubni występują gleby rędzinowe, średnio głębokie i płytkie powstałe ze zwietrzenia wapieni skalistych i margli obszaru jurajskiego. Dolina rzeki Dłubni wyścielona jest warstwą utworów pylastych. Gleby wytworzone z lessu, zajmujące większość powierzchni dorzecza, są bardzo podatne na zmywy. Mała powierzchnia lasów oraz terenów zadarnionych sprzyja ponadto erozji. Użytkowanie dorzecza Dłubni przedstawia tabela 2.



Rys. 1. Mapa spadków zlewni rzeki Dłubnia

T a b e l a 1

Procentowy rozkład nachyleń w dorzeczu Dłubni

Przedziały spadków wg Figuły	Powierzchnia km ²	Powierzchnia %
0-3%	51,41	23,70
3-6%	60,56	27,78
6-10%	64,30	31,24
10-20%	28,69	11,27
20-30%	10,86	4,96
>30%	2,28	1,05
Razem	218,10	100,00

T a b e l a 2

Użytkowanie dorzecza Dłubni

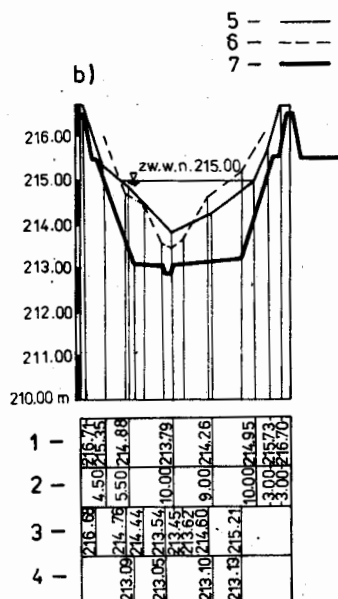
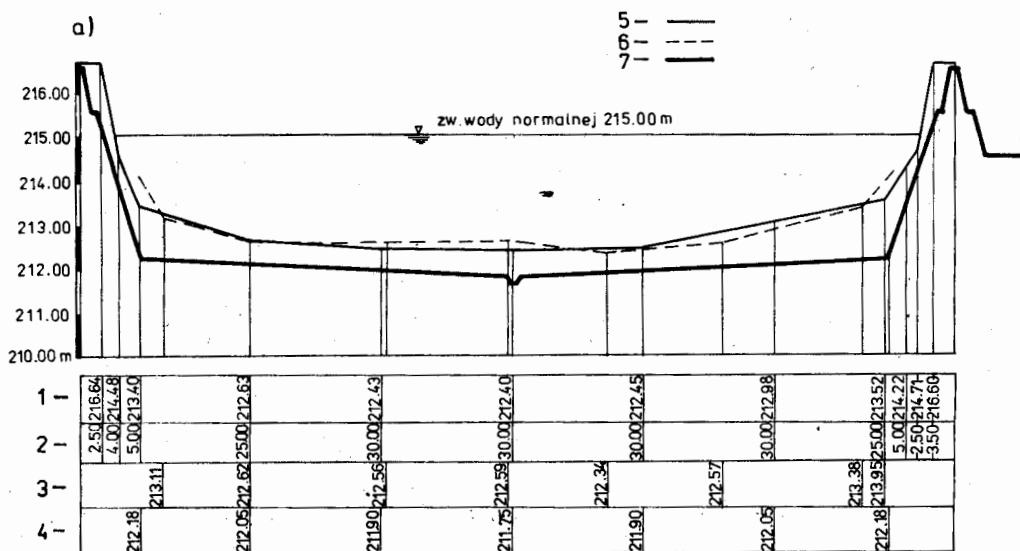
Rodzaj użytku	Powierzchnia km ²	Procentowy udział w stosunku do całej zlewni
Lasy	20,6	9,5
Użytki zielone	3,5	1,6
Grunty orne	170,3	78,1
Inne	23,7	10,8
Ogółem	218,1	100,0

O p a d y. Na terenie zlewni rozmieszczone są trzy stacje opadowe: w Iwanowicach, Trzyciąży i w Skale. Analizując wyniki wieloletnich pomiarów na tych stacjach, stwierdzić można że badany obszar leży w cieniu opadowym. Najwyższe średnie opady występują w górnym dorzeczu i według Wiszniewskiego [10] wynoszą 750 mm. Wschodnia część regionu otrzymuje średnio 550-600 mm opadu rocznie. Suma opadów w roku normalnym, obliczona na podstawie czterdziestoletnich obserwacji, wynosi 693 mm.

USTALENIE WIELKOŚCI ZAMULENIA ZBIORNIKA

Obszar badań obejmował część zlewni rzeki Dłubni do przekroju jazu w Zesławicach, piętrzącego wodę w zbiorniku o pojemności 228 tys. m³.

Zbiornik został oddany do użytku w październiku 1966 r. i wybudowany w celu ujęcia wody dla kombinatu Huty im. Lenina. Przewidywany okres zamulania ustalono na 16 lat. Znaczne jego załadowienie już w 1970 r. skłoniło do podjęcia szczegó-

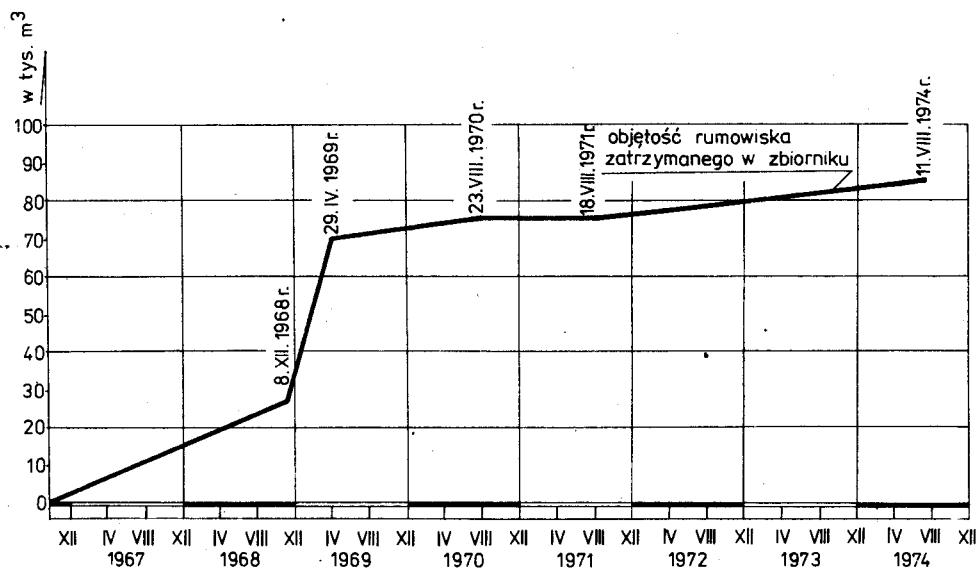


Rys. 2. Wybrane przekroje poprzeczne zbiornika w Zesławicach
 a - przekrój przy zaporze: 1 - rzędne dna VIII.1974 r., 2 - odległości, m; 3 - rzędne dna VIII.1971 r., 4 - rzędne dna X.1966 r., 5 - dno zbiornika VIII.1974 r., 6 - dno zbiornika VIII.1971 r., 7 - dno zbiornika X.1966 r.; b - przekrój na końcu cofki (oznaczenia jak do rys. 2a)

T a b e l a 3

Wyniki pomiarów zamulenia zbiornika wodnego w Zesławicach

Nr prze- kroju	Powierzchnia m ²	Średnia powierzchnia m ²	Odległość między przekrojami m	Objętość m ³	Suma objętości m ³
2	128,25	128,98	40	5 159	5 159
3	128,62	132,37	40	5 295	10 454
4	135,12	136,68	40	5 467	15 921
5	138,25	146,62	40	5 865	21 786
6	155,00	153,50	40	6 140	27 926
7	152,00	159,93	40	6 397	34 323
8	167,87	179,24	40	7 170	41 493
9	190,62	192,81	40	7 712	49 205
10	195,00	197,25	40	7 890	57 095
11	199,50	217,06	40	8 682	65 777
12	234,62	228,18	35	7 986	73 763
13	221,75	184,87	40	7 395	81 158
14	148,00	89,82	45	4 042	85 190
15	31,65			60	85 250



Rys. 3. Wykres objętości rumowiska zatrzymanego w zbiorniku w Zesławicach

łowych badań stanu zamulenia i określenia jego przyczyn. Podstawowe parametry omawianego zbiornika to:

- pojemność użytkowa zbiornika	228 tys. m ³
- powierzchnia zalewu przy normalnym piętrzeniu	6,0 ha
- średnia głębokość zbiornika	3,5 m
- rzędna normalnego poziomu wody w zbiorniku	215 m n.p.m.
- rzędna korony wału	218 m n.p.m.

Dokładna charakterystyka zbiornika oraz metodyka pomiarów podana jest szczegółowo w pracy Bednarczyka i Chodackiego [1]. Wielkość zamulenia określono na podstawie bezpośrednich pomiarów w 15 przekrojach poprzecznych zbiornika. Przekroje wykonane były w odległościach co 40 m (z dwoma wyjątkami - przekrój 13 i 15), poczynwszy od jazu aż do końca cofki zbiornika. Na rysunku 2 przedstawiono wybrane dwa przekroje poprzeczne; najbliższy jazu i na końcu cofki. Na przekrojach tych zaznaczono poziomy dna zbiornika w sierpniu 1971 r. i w sierpniu 1974 r. Objętość namulów obliczono jako iloczyn średnich powierzchni sąsiednich przekrojów i odległości między nimi. Końcowe zestawienie pozwala zorientować się w ilości aktualnie nagromadzonego w zbiorniku rumowiska, oraz ocenić między jakimi przekrojami zalega największa i najmniejsza jego objętość. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 3.

Uwaga: do sumy objętości dodano wartość 60 m³, stanowiącą objętość rowu wzdłuż osi zbiornika.

Objętość rumowiska zatrzymanego w zbiorniku w Zesławicach przedstawiono graficznie za pomocą krzywej sumowej (rys. 3).

OKREŚLENIE WIELKOŚCI DENUDACJI METODĄ A. RENIGER I K. DĘBSKIEGO

W celu określenia natężenia procesów erozyjnych w badanej zlewni oparto się na dziewięciostopniowej skali zmywalności gleb Reniger [9] oraz ilościowych wskaźnikach denudacji odpowiadających poszczególnym klasom ustalonym przez Dębskiego [3] (tab. 4).

Podziału obszaru zlewni według kryteriów klasyfikacyjnych Reniger dokonano na podstawie map w skali 1 : 25 000, co zezwoliło na dokładne wyznaczenie zasięgu poszczególnych klas erozji. Obszar zlewni zaliczono do IV, V, VIII klasy (rys. 4). a powierzchnie zajęte przez poszczególne klasy podano w tabeli 5. Klasy te wyróżniają się następującymi cechami:

Klasa IV - zjawiska erozji występują na większych powierzchniach, nieraz bardzo intensywnie. Zaliczono tu tereny usytuowane w dolinach rzek, wyścielone utworami pochodzenia rzeczno. Występują tu gleby grupy 5, gleby gliniaste zagłębień i kotlin. Przeciętne nachylenie 1,7-3,5%.

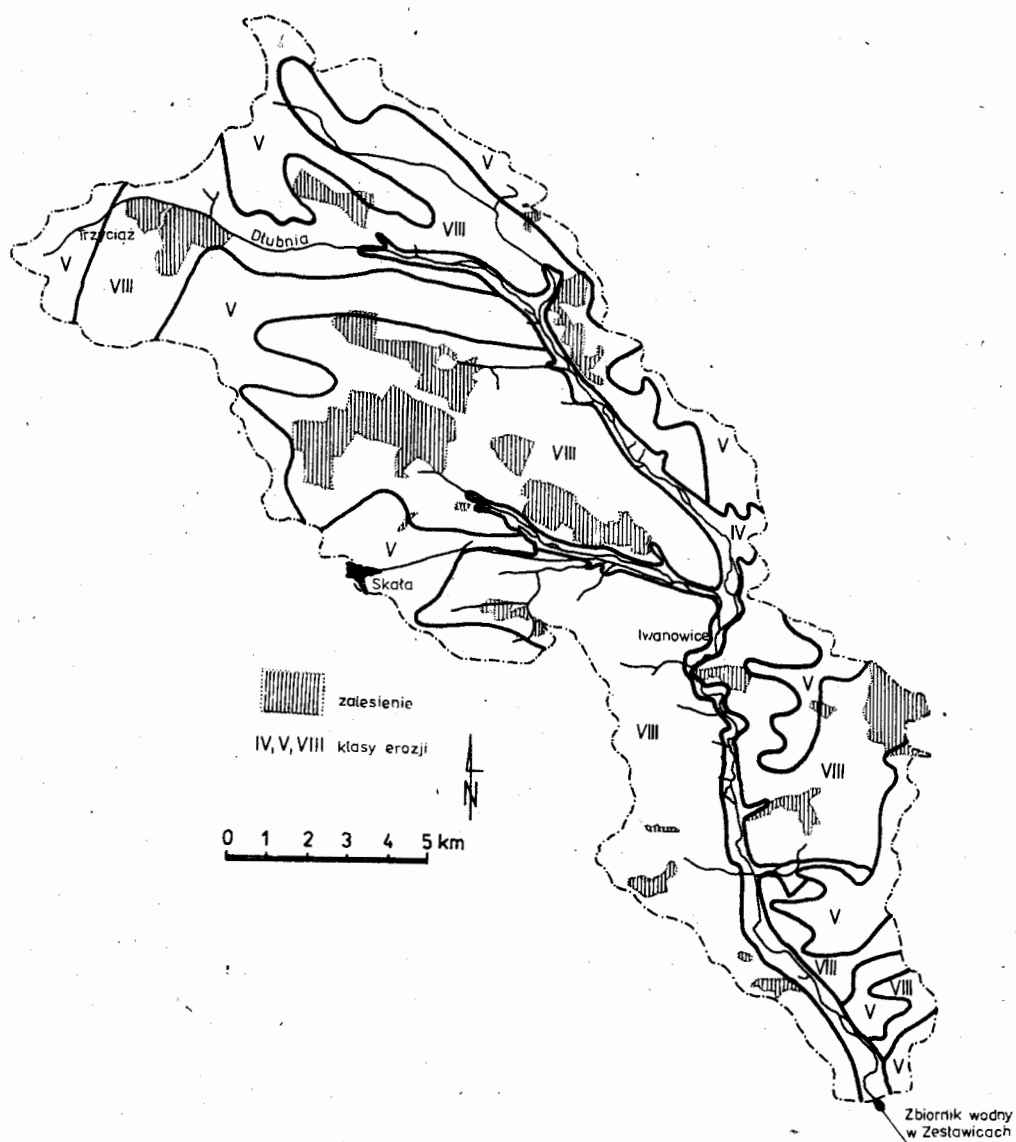
Klasa V - zjawiska erozji występują powszechnie, dość intensywnie:

a) przeciętne nachylenie 1,7-8,7%, gleby grupy 3 - rędziny. Przeciętne opady roczne nie przekraczają 800 mm;

Tabela 4

Intensywność denudacji odpowiadająca poszczególnym klasom wg klasyfikacji Reniger

Klasa	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Intensywność denudacji $t/km^2/rok$	1,32	7,25	14,9	28,8	49,0	123,0	218,0	320,0	417,0



Rys. 4. Klasy erozji w zlewni rzeki Dłubni wg Reniger

T a b e l a 5

Wielkości denudacji w zlewni Dłubni

Klasy wg Reniger	Powierzchnie odpowiadające klasie km^2	Wskaźnik denudacji wg Dębskiego $\text{t}/\text{km}^2/\text{rok}$	Denudacja t/rok
IV	13,40	28,8	386
V	63,49	49,0	3 111
VIII	141,21	320,0	45 187
Suma	218,10		48 684

b) przeciętne nachylenie terenu 1,7-3,5%, gleby grupy 6, wytworzone z lessów i czarnoziemne. Opady nie przekraczają 800 mm. W klasie tej dominują grunty orne, tereny częściowo zalesione i zakrzaczone.

Klasa VIII - zjawiska erozji występują powszechnie, często intensywnie, liczne wąwozy; nachylenie terenu 3,5-14,1%; gleby grupy 6, wytworzone z lessów i czarnoziemy. Opady nie przekraczają 850 mm.

USTALENIE WIELKOŚCI DENUDACJI

Łączna ilość rocznej denudacji z całej zlewni Dłubni wynosiła 48 684 t/rok, a średnia wartość denudacji zlewni - 223,2 $\text{t}/\text{km}^2/\text{rok}$.

Porównanie ilości materiału zatrzymanego w zbiorniku z wielkością denudacji określonej metodą Reniger i Dębskiego podano w tabeli 6. Przeliczenia objętości rumowiska zatrzymanego w zbiorniku (m^3) na jednostkę masy (t) dokonano przyjmując gęstość rumowiska równą $1400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Przeprowadzone wieloletnie obserwacje i pomiary wskazują, że zlewnia rzeki Dłubni podlega stałemu procesowi denudacji. Sprzyja temu również użytkowanie zlewni (prawie 80% stanowią grunty orne, szczególnie narażone na intensywne wypłukiwanie), a potęguje ponadto rodzaj gleby (lessy) i rzeźba terenu. Porównanie wielkości denudacji z ilością osadów w zbiorniku (tab. 6) nasuwa pewne uwagi. Wyraźnie bowiem widać, że ilości osadów w zbiorniku, w poszczególnych okresach badawczych są różne. Zróżnicowanie to może wskazywać, że obliczone wielkości denudacji metodą Reniger dają niejako jej wartość średnią. Proces ten przebiega przeważnie z różnym natężeniem, zależnym od wielu czynników, których nie uwzględniono ustala-

T a b e l a 6

Ilość rumowiska zatrzymanego w zbiorniku w Zesławicach i wielkość denudacji

Okres obserwacji	Ilość rumowiska odłożonego w zbiorniku		Wskaźnik denudacji wg pomiarów t/km ² /rok	Średni wskaźnik denudacji wg Reniger t/km ² /rok
	m ³	t		
X.1966 - XI.1968	26 968,4	37 755,8	79,7	223,2
XII.1968 - IV.1969	43 456,8	60 839,5	670,7	
V.1969 - VIII.1970	5 354,8	7 496,7	25,8	
IX.1970 - VIII.1971	471,0	659,4	-	
IX.1971 - VIII.1974	9 941,0	13 917,4	14,8	
X.1966 - VIII.1974	85 250,0	11 950,0	95,8	

jąc stopnie denudacji. Do tych czynników należeć będą między innymi: grubość pokrywy śnieżnej w danym roku, gwałtowność roztopów, intensywność opadów, a także pokrycie roślinnością.

W drugim okresie badawczym (XII 1968-IV 1969 r.) ilość odłożonego materiału znacznie przewyższa obliczoną wielkość denudacji. W związku z tym szukano przyczyn tak dużego zamulenia. Przeanalizowano zatem ilość unosiny w tym okresie określonej przez stację wodociągową, zlokalizowaną na ujściu powyżej zbiornika. Wyniki pomiarów znacząco przewyższają wartości średnie notowane na tej stacji. Wskazuje to na szczególną intensywność zmywów powierzchniowych w tym okresie, co wyjaśnia przyczynę większej ilości odłożonego materiału w zbiorniku niż obliczonego metodą Reniger. Z kolei mniejsza niż obliczona ilość odłożonego w zbiorniku rumowiska w okresie IX 1971-VIII 1974 r. była przypuszczalnie spowodowana opróżnieniem zbiornika na okres czterech miesięcy.

Porównując wartość średnią odłożonego w zbiorniku rumowiska za okres badawczy (wynoszącą 95,8 t/km²/rok) z wartością wyliczoną metodą Reniger i Dębskiego (223,2 t/km²/rok), można wnioskować że widoczna różnica wynika z intensywności i natężenia procesów erozyjnych w zlewni, czego nie odzwierciedla ilość rumowiska pomierzona w zbiorniku. Duże ilości zdenudowanego materiału nie są bowiem dostarczane do cieku, a następnie do zbiornika, lecz są akumulowane u podnóża zboczy, tworząc rozległe deluwia, jak również zamulając rowy przydrożne, drogi i pola leżące w niższych partiach badanej zlewni.

Intensywność zamulenia zbiornika z czasem stopniowo maleje. Jednakże w porównaniu z dużymi zbiornikami jest ona znaczna. Proces ten wykazuje tendencje zniżkowe. Dla przykładu wskaźnik denudacji mechanicznej ulega zmniejszeniu. W poszczególnych okresach wynosił on: do 1969 - 0,129 mm/rok, 1971 - 0,092 mm/rok, 1972 - 0,088 mm/rok, 1974 - 0,048 mm/rok.

Prawidłowe użytkowanie zlewni mogłoby proces zamulania zbiornika, a więc i wielkość denudacji znacznie zmniejszyć. W tym celu należałoby w rejonach o silnej erozji, tzn. na bardziej stromych zboczach, ograniczyć powierzchnię gruntów ornych do minimum. Tereny te powinny być bezwzględnie przeznaczone pod gospodarkę łąkowo-pastwiskową lub zalesione. Należy również dążyć do stabilizacji skarp wąwozów. Trzeba pamiętać, że zarówno budowa geologiczna, jak i gleby sprzyjają powstawaniu wąwozów. Równocześnie odpowiednie zabezpieczenie dróg śródpolnych może wpływać znacznie na zmniejszenie erozji liniowej. Z obserwacji zabudowy biologicznej rzeki wynika konieczność jej uzupełnienia przez zwiększenie udziału niektórych roślin, jak wiklina, bez czarny, jarzębina, olcha szara itp.

LITERATURA

1. Bednarczyk T., Chodacki L.: Zamulanie małych zbiorników wodnych. Wiad. Melior. i Łąk., z. 4, 1970.
2. Cyberski J.: Badania akumulacji rumowiska w zbiornikach retencyjnych w Polsce. Gosp. Wod., z. 2, 1970.
3. Dębski K.: Próba oszacowania denudacji na obszarze Polski. Pr. i Stud. Komitetu Gosp. Wod. t. 2, cz. I, Warszawa 1959.
4. Dynowska I.: Krążenie wód podziemnych na Wyżynie Krakowskiej i Miechowskiej. Geographica, ser. Geogr. Phys., z. 4, Kraków 1970.
5. Figuła K.: Wstępna charakterystyka zjawisk erozji na terenie kilku powiatów woj. krakowskiego. Roczn. Nauk Rol., t. 71, z. 4, 1955.
6. Gładki H., Lipski C.: Porównanie wielkości denudacji określonych metodą A. Renigera i K. Dębskiego do rzeczywistych wielkości zatrzymanego rumowiska powyżej zapory na potoku Lubieńka, Zesz. Nauk. AR, nr 79, 1973.
7. Osuch B.: Hydrologia dorzecza rzeki Dłubni. Arch. IBW Politechn. Krak., Kraków 1969.
8. Pr. i Stud. Komitetu Gosp. Wod. - Stosunki Hydrograficzne poszczególnych regionów Polski, t. 2, cz. 2, Denudacja, Warszawa 1958.
9. Reniger A.: Zagadnienia erozji gleb w Polsce. Pr. i Stud. Komitetu Gosp. Wod., t. 2, cz. I, Warszawa 1959.
10. Wiszniewski B.: Zamulanie zbiorników wodnych w Polsce oraz jego prognoza na podstawie intensywności denudacji. Arch. Hydrotechn., t. XVI, z. 4, 1970.

Tadeusz Bednarczyk, Czesław Lipski, Marek Madeyski

AN ACCUMULATION OF LOAD IN SMALL RESERVOIR AND ITS APPRAISING BASED ON DENUDATION PROCESS IN LOESS RIVER BASIN

Summary

In paper are presented results of measurements of accumulation of load in small river reservoir on Dłubnia River. The capacity of this reservoir was 228 000 m³. The greater part of river basin consists of loess. The map of slope shows that 80% of surface area is strongly eroded.

In different periods (1966-1974) were conducted the measurements of load being deposited. A value of denudation acc. to A. Reniger and K. Dębski was $223,2 \text{ t/km}^2/\text{year}$.

Table 6 shows that disagreements exist between computed and measured values of denudation depending on period of measurements.

In conclusions are discussed reasons of these disagreements and suggestions how to slow down a process of accumulation of load in reservoir.

Тадеуш Беднарчик, Чеслав Липски, Марек Мадейски

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЗАИЛЕНИЯ МАЛОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ФОНЕ
ДЕНУДАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛЕССОВОМ ВОДОСБОРЕ

Р е з ю м е

Работа представляет результаты многолетних измерений заиления малого водохранилища (с объёмом $228\,000 \text{ м}^3$), на реке Длубня. Большую часть поверхности водосбора занимают лессы. Как показано на карте склонов, около 80% поверхности подвергается сильной поверхностной эрозии.

Через разные промежутки времени (в годы 1966-1974) были проведены измерения отложенных наносов. Одновременно определяли методом А. Ренигер и К. Дембского величину денудации для этого водосбора, которая составляет $223,3 \text{ т/км}^2/\text{г}$.

Как представлено в таб. 6 существуют разницы между показателями денудации определёнными на основе измерений заиления водохранилища, и вычислений для отдельных периодов исследований.

В заключении представлены причины этих разниц. Даются также рекомендации, которые касаются использования водосбора с целью уменьшения величины денудации, а также ограничения процесса заиления водохранилища.