

POLSKA AKADEMIA NAUK  
KOMISJA TECHNICZNEJ INFRASTRUKTURY WSI

---

POLISH ACADEMY OF SCIENCE  
COMMISSION OF TECHNICAL INFRASTRUCTURE

## **INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH**

**2**

## **INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS**

Seria: monografia  
monograph

*Wojciech Bartnik, Jacek Bonenberg, Jacek Florek*

**WPŁYW UTRATY NATURALNEJ RETENCJI ZLEWNI NA  
CHARAKTERYSTYKĘ MORFOLOGICZNĄ ZLEWNI I CIEKU**

**THE INFLUENCE OF THE LOSS  
OF NATURAL WATER STORAGE CAPACITY  
OF A RIVER BASIN ON THE MORPHOLOGICAL  
CHARACTERISTIC OF THE RIVER AND ITS BASIN**

Kraków 2009

*RADA PROGRAMOWA – RESEARCH COUNCIL*

Radomir Adamowski (*Praga*), Tadeusz Bednarczyk, Waclaw Bieda,  
Jerzy Gruszczyński, Bent Hasholt (*Kopenhaga*), Dušan Húska (*Nitra*),  
Stanisław Krzanowski (*przewodniczący*), Marek Madeyski, Antoni T. Miler,  
Jan Pawełek, Artur Radecki-Pawlik, Jerzy Ratomski, Stanisław Rolbiecki,  
Czesław Rycąbel, Janusz Lech Siemiński, Stefan Stojko (*Lwów*),  
Rastislava Stolična (*Bratysława*), Ryszard Ślizowski, Gerlind Weber (*Wiedeń*),  
Stanisław Węglarczyk, Andrzej Woźniak, Zdzisław Wójcicki

*KOMITET REDAKCYJNY – EDITORIAL BOARD*

Jerzy Gruszczyński (red. nacz.), Jerzy Kwapisz (z-ca red. nacz.),  
Anna Krakowiak-Bal (sekretarz), Stanisław Węglarczyk (red. angielska)

*WYDAWCA – EDITOR*

Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi PAN w Krakowie  
Katedra Technicznej Infrastruktury Wsi Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie

Copyright by ©:

Katedra Technicznej Infrastruktury Wsi, ul. Balicka 116 B, 30-149 Kraków

*ADRES REDAKCJI – EDITORIAL OFFICE ADDRESS*

Redakcja liETW, ul. Balicka 116 B, 30-149 Kraków, tel. (12) (662) – 46 59, - 46 58, - 46 55  
Fax: (12) 662 46 60, e-mail: gruszczyński@ar.krakow.pl, www.infraeco.pl

ISSN 1732-5587

Okładka: *Adam Chłobowski*  
Korekta i adiustacja: *Krystyna Oliwa*

Skład komputerowy, druk, oprawa:  
*S.C. DRUKROL, AL. 29 Listopada 46, Kraków, tel. (12) 412 46 50*

Monografię opracowano w Katedrze Inżynierii Wodnej  
Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie

**Recenzent: *prof. dr hab. inż. Włodzimierz Parzonka***

Wstęp – Jacek Bonenberg

Rozdział 1 – Jacek Bonenberg

Rozdział 2 – Jacek Florek

Rozdział 3 – Jacek Florek

Rozdział 4 – Wojciech Bartnik, Jacek Florek

Wnioski – Jacek Florek

## SPIS TREŚCI

Wstęp .....	5
1. Założenia metody LCM .....	7
2. Analiza deszczu efektywnego .....	30
3. Koncepcja wzrostu procentowego udziału powierzchni leśnej w zlewniach cząstkowych .....	39
4. Niedobory retencyjne jako efekt uszczelnienia podłoża .....	44
5. Wpływ zmiany stopnia uszczelnienia powierzchni zlewni na warunki ruchu rumowiska wleczonego w rzekach i potokach górskich .....	54

## CONTENS

Introduction .....	5
1. Preliminaries of lcm method .....	7
2. Effective rain analysis .....	30
3. Conception of forestation increase in the subbasin .....	39
4. The loos of natural warer storage as effect of land cover .....	44
5. The influence of land cover factor on bedload transport conditions in the mountain rivers and streams .....	54

## WSTĘP

Rozwój zrównoważony jest procesem zmian i podlega jak każde działanie obserwacji. Jego realizacji służą wytyczne i zadania sformułowane w różnego rodzaju dokumentach planistycznych (planach, programach, strategiach). Monitorowanie przebiegu realizacji zadań i celów przyjętych w tych dokumentach opiera się na różnego rodzaju wskaźnikach. Wskaźnik najogólniej mówiąc wyraża poziom danego zjawiska i jest najbardziej czytelną formą opisu statystycznego. W celu opisu rozwoju zrównoważonego przyjęto wiele wskaźników, służących jako narzędzia diagnostyczno-informacyjne i dostarczających informacji o aktualnym stanie środowiska, jego zagrożeniach. Informacja pozyskana za pomocą wskaźnika wykorzystywana jest przy podejmowaniu decyzji na różnych poziomach zarządzania i stanowi najczęściej podstawę do aktualizacji przyjętych w dokumentach planistycznych celów i zadań oraz weryfikacji sposobów ich realizacji.

Jednym ze wskaźników spełniających powyższe kryteria jest **wskaźnik stopnia uszczelnienia zlewni** rozumiany jako stosunek powierzchni zabudowanej (uszczelnionej) do całkowitej powierzchni zlewni. Właściwa analiza powyższego wskaźnika umożliwia ocenę stopnia degradacji zlewni, jak i przyczyn tego stanu, docelowo skutkującego zmianami morfologicznymi koryt cieków w zlewni.

Należy podkreślić, iż w Europie otwartym od lat zagadnieniem pozostaje ocena wpływu zagospodarowania przestrzennego na jakość ekosystemów wodnych, w tym również na morfologię zlewni i cieków. Jest to jedno z podstawowych zagadnień zlewniowego podejścia do gospodarowania wodami, ponieważ w sposób jednoznaczny wiąże sposób użytkowania obszaru zlewni ze stanem odbiornika, któremu jest przynależna sieć hydrograficzna niższego rzędu. Sieć ta rozumiana jest jako ekosystem wodny – korytarz rzeczny (doliny rzek i potoków) z całym bogactwem jej form przyrodniczych. Rodzaj i zakres powiązania użytkowania terenu zlewni z jakością ekosystemu wodnego jest oczywiście złożony i uzależniony od wielu czynników. Niemniej jednak wypracowano już metody oceny aktualnych skutków wpływu zagospodarowania przestrzennego na jakość ekosystemów wodnych, a także ich prognozy, opartej na planowanym użytkowaniu terenu. Zmiany te objawiają się zarówno prostymi skutkami jakimi

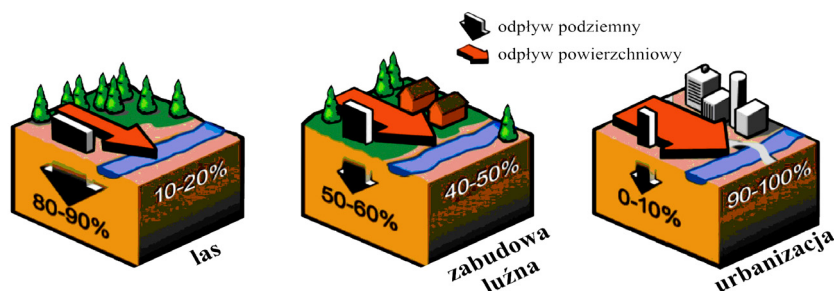
jest pogorszenie stanu jakościowego cieków wodnych, po zależności bardziej złożone, którymi są na przykład zmiany morfologiczne zarówno koryta cieków, jak i całej powierzchni zlewni

Wydaje się, iż racjonalnym podejściem rozwiązania problemu degradacji ekosystemów wynikającego ze stopnia zagospodarowania zlewni jest skuteczne powiązanie planowania przestrzennego z oceną zagrożeń, jakie realizacja planów przestrzennych może nieść dla całego ekosystemu wodnego. Jest to w założeniu stosunkowo proste podejście, oparte w swej istocie na związku użytkowania terenu i stanu ekologicznego ekosystemu wodnego. Jego siła i racjonalność polega na fakcie, że plany zagospodarowania przestrzennego zawierają wszystkie niezbędne informacje o przyszłym użytkowaniu terenu. Pozwalają tym samym oszacować jego wpływ na zmiany stanu ekologicznego, w tym na morfologię zlewni i cieków, oczywiście pod warunkiem, że potrafimy ten związek przyczynowo-skutkowy opisać ilościowo.

Jak dotychczas, jedyną dopracowaną metodą takiej oceny powstała w USA. Metoda ta, zwana analizą podatności zlewni (*Land Cover Method – LCM* lub *Impervious Cover Method – ICM*), bazuje na kwantyfikacji użytkowania terenu przez stopień uszczelnienia jego powierzchni, który przekłada się na stan ekologiczny, w tym również morfologię wód. Metoda oparta jest na tak zwanym **współczynniku (wartości) pokrywy nieprzepuszczalnej**, rozumianym jako stosunek powierzchni nieprzepuszczalnej (uszczelnionej) do całkowitej powierzchni zlewni.

## 1. ZAŁOŻENIA METODY LCM

W Stanach Zjednoczonych prowadzone były od kilkunastu lat, przez różne ośrodki badawcze, prace mające na celu znalezienie odpowiedzi na pytanie, czy istnieje związek pomiędzy zagospodarowaniem terenu a stanem ekosystemów wodnych. Wydaje się logiczne, że zagospodarowanie terenu może zasadniczo zmienić stosunki gruntowo-wodne, a tym samym poważnie wpłynąć zarówno na strukturę odpływu powierzchniowego i podziemnego jak i na fizykochemiczną jakość wody, co w sumie ma zasadniczy wpływ na hydromorfologiczny i biologiczny stan wód powierzchniowych.



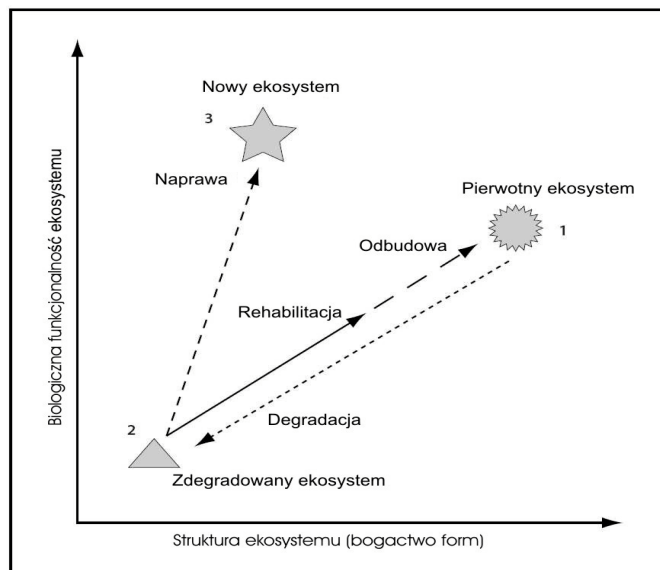
**Rysunek 1.** Wpływ stopnia uszczelnienia podłoża na odpływ ze zlewni  
**Figure 1.** Influence of land cover factor on the catchment runoff

Zwiększony odpływ wód deszczowych związany z zabudową terenu często jest początkiem łańcucha reakcji, dotyczących wezbrań, których kulminacja nie przekracza wartości przepływu wysokiego dziesięcio- lub pięcioletniego, erozji i depozycji materiału. Wezbrania te mogą spowodować zmiany morfologiczne koryta, a w konsekwencji degradację biologiczną wynikającą z utraty ciągłości strefy roślinnej na skutek obniżenia dna i „oberwania” brzegu (patrz rysunek poniżej). Zmiany fizyczne odpływu nie od razu mają zauważalny wpływ na zniszczenie ekologicznych funkcji cieków wodnych. Dzieje się to powoli, postępuje w latach i często w okresie jednego zawodowego pokolenia (15–20 lat) proces ten nie jest zauważalny.



**Rysunek 2.** Wpływ urbanizacji na degradację koryta  
**Figure 2.** Influence of land urbanizing on river bed degradation

Zmiana struktury odpływu, w powiązaniu ze zwiększającym się zanieczyszczeniem wód spowodowanym przez człowieka oraz ze zmianą formy i funkcji dolin rzecznych, powodują systematyczną degradację ekologiczną ekosystemów wodnych oraz ekosystemów lądowych od wód zależnych. W określonych warunkach ekosystemy wodne są w stanie same przystosować się do zmienionych uwarunkowań zewnętrznych. Jednak, gdy istotnie wzrasta poziom urbanizacji, fizyczne zmiany sieci hydrograficznej, takie jak regulacja cieków, budowa sztucznych kanałów, piętrzenie wód i przerzuty wody stają się normą. W miarę zmian w zagospodarowaniu przestrzeni zwiększa się wpływ jej oddziaływania na środowisko wodne, którego etapem końcowym jest zupełna zmiana parametrów morfologicznych, hydrologicznych, hydrodynamicznych i biologicznych charakteryzujących ciek.



**Rysunek 3.** Wzajemne uwarunkowania ekosystemów  
**Figure 3.** Ecosystems interaction



Biorąc pod uwagę docelowy (w stosunku do obecnego) stan ekosystemów rzecznych oraz uwarunkowania, które zmianom tym towarzyszą (wynikające z realizacji potrzeb człowieka), przywrócenie właściwego (zadowalającego) stanu ekologicznego zlewni rzecznych będzie trudne do realizacji, a często niemożliwe.

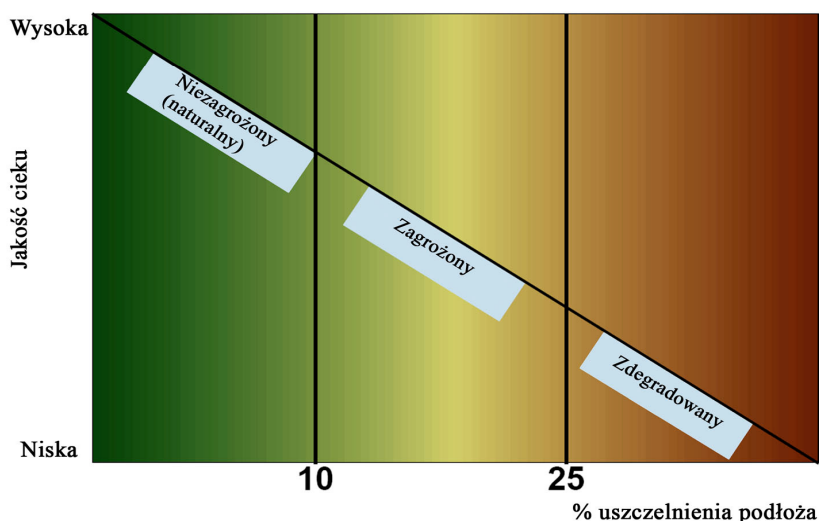
O ile przy niewielkich zmianach, zauważonych w porę, jest możliwa odbudowa pierwotnego ekosystemu, o tyle przy znaczących zmianach morfologicznych i ekologicznych zlewni rzecznych możliwa będzie naprawa ekosystemu w taki sposób, aby zapewnić jego biologiczną funkcjonalność. Obrazuje to powyższy diagram (River Rehabilitation Manual 2001), gdzie na jednej osi umieszczono strukturę ekosystemu, a na drugiej jego biologiczną funkcjonalność. Przejście wzdłuż linii 2 – 1, czyli rehabilitacja (renaturyzacja) lub odbudowa pierwotnego ekosystemu (rewitalizacja) jest zabiegiem wymagającym poniesienia odpowiednich kosztów, znacząco jednak mniejszych niż „przejście” linii 2 – 3, czyli naprawa obecnego ekosystemu, polegająca na budowie nowego ekosystemu o ograniczonej funkcjonalności biologicznej. Każde z tych działań odniesione będzie do innej, indywidualnej sytuacji. Jednakże działanie polegające na budowie nowego, ograniczonego biologicznie ekosystemu, jest typowe dla zlewni (terenów) silnie zurbanizowanych.

Dlatego logiczne, aby nie doprowadzić do sytuacji skrajnych, wydaje się monitorowanie planowanego zagospodarowania przestrzennego, odnosząc go do zlewni rzecznych i ewentualne „wpisanie” działań zapobiegawczych w miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego.

Jak już wspomniano, prace dotyczące tych zjawisk prowadzone były przez kilkanaście amerykańskich ośrodków naukowych w kilkuset zlewniach pilotowych. Prowadzone w Stanach Zjednoczonych badania próbowały w początkowej fazie określić zmiany w reżimie odpływu wód powierzchniowych, wynikające z postępującej urbanizacji terenu, czy też określać ładunek zanieczyszczeń odprowadzany do wód powierzchniowych i podziemnych w zależności od intensywności i rodzaju zabudowy. Późniejsze prace, korzystając z doświadczeń poprzedników, próbowały „wiązać” ilościowe i jakościowe zmiany ekosystemów wodnych z postępującą urbanizacją, poprzez określenie korelacji pomiędzy różnymi rodzajami presji, takimi jak: gęstość zaludnienia, ilość odprowadzanych zanieczyszczeń, wielkość powierzchni zurbanizowanej, sposób użytkowania terenu, a potencjałem ekologicznym ekosystemów. Wykazały one, że wielkość pokrywy nieprzepuszczalnej, związanej z zagospodarowaniem terenu w zlewni, może być użyta do oszacowania zarówno obecnego, jak i przyszłego stanu ekologicznego wód.

Przeprowadzone szerokie prace terenowe i studialne wykazały, że istnieją pewne obszary jakości ekosystemu wodnego (powyżej 10% udziału pokrywy nieprzepuszczalnej), gdzie najbardziej wrażliwe elementy ekosystemu są z tego systemu traczone. W tym przypadku przy podejmowaniu przeciwdziałania można

mówić o odbudowie ekosystemu wodnego. Kolejny próg pojawia się przy wielkości pokrywy nieprzepuszczalnej w granicach 25–30% ogólnej powierzchni zlewni. W warunkach tych większość wskaźników określających dobry potencjał ekologiczny wód przekracza wartości progowe i przesuwa się w kierunku wartości złych (zmniejszona różnorodność środowiska wodnego, obniżona jakość wody i siedlisk). Powyżej wartości 25–30% następuje trwała degradacja cieków i zlewni wodnych, gdzie docelowo można mówić jedynie o kosztownej „naprawie” ekosystemu wodnego – zlewni rzecznej. Poniżej na załączniku pokazano interpretację graficzną tego zjawiska (wg „How urbanization affects the water cycle”).



**Rysunek 4.** Relacja pomiędzy wielkością uszczelnienia podłoża a jakością ekologiczną cieków wodnych

**Figure 4.** Relation between of land cover size and ecological quality of river

**Podstawy metodyczne.** W 1998 roku Centrum Ochrony Zlewni (Stany Zjednoczone) opublikowało zasady analizy podatności zlewni (jako szybkiej oceny zagrożenia), w których opisano ośmio punktowy program opracowania efektywnych planów zlewniowych oraz szczegóły dotyczące różnych metod używanych przy tym planowaniu. Od tego czasu Centrum Ochrony Zlewni prowadziło prace nad kilkunastoma małymi zlewniami na obszarze Stanów Zjednoczonych, mających na celu ochronę pstrąga, łososia, terenów podmokłych, zasobów wody pitnej, jakości siedlisk, jezior, plaż i innych ważnych zasobów

wodnych. Celem opracowanej na podstawie tych prac metodyki „Analizy Podatności Zlewni” było dostarczenie narzędzi do szybkiego planowania, mającego zastosowanie do zlewni cząstkowych i możliwości przeniesienia wniosków z nich wynikających na zlewnie i dorzecza. Opracowana metodyka zawiera techniki służące do definiowania zlewni cząstkowych, oszacowania istniejącej i przyszłej „pokrywy nieprzepuszczalnej”, a także dostarczenia wskazówek o czynnikach, które mogą zmienić początkową klasyfikację lub diagnozę poszczególnych zlewni cząstkowych. Opracowana metodyka pozwala porównać jakość zlewni cząstkowych w obrębie zlewni niższego rzędu lub dorzecza i umożliwia:

- Szybkie przewidywanie, która ze zlewni cząstkowych jest najbardziej podatna na skutki przyszłego zagospodarowania zlewni i wymaga natychmiastowych opracowań planistycznych.
- Opracowanie rankingu identyfikującego zlewnie cząstkowe, które wymagają szybkich działań naprawczych.

**Etapy analizy i oceny częściowe.** Jak już wspomniano, podstawowa analiza podatności jest procesem ośmiostopniowym, podzielonym na cztery etapy wymagające oceny i podsumowania. Etapami analizy są:

- wstępny podział zlewni na zlewnie cząstkowe, dla którego wyodrębniono etapy cząstkowe: zebranie materiałów wyjściowych w tym źródeł kartograficznych, określenie granic zlewni cząstkowych, określenie zagospodarowania terenu, określenie istniejącej pokrywy nieprzepuszczalnej,
- ostateczny podział zlewni na zlewnie cząstkowe, realizowany poprzez dwa etapy: ocenę jakości cieków oraz ocenę zlewni cząstkowych,
- opracowanie rankingu najbardziej podatnych zlewni cząstkowych na podstawie określenia przyszłej pokrywy nieprzepuszczalnej,
- określenie działań zmierzających do poprawy zlewni cząstkowych poprzez szacowanie potencjalnych działań naprawczych.

**Oszacowanie skali zlewni w celu przeprowadzenia oceny zagospodarowania.** Podstawową rzeczą przy przystąpieniu do prac jest określenie dwóch wielkości: skali zlewni i wynikających z przyjętej skali podziału obszaru planowania na zlewnie cząstkowe. Skala zlewni oznacza wielkość części terenu, wybranej do oceny i zagospodarowania. Obszar, z którego wody odprowadzane są do danego odbiornika (cieku niższego rzędu) może zawierać kilka dopuszczalnych sposobów zagospodarowania terenu. Obszary (jednostki) o dopuszczalnym (określonym w miejscowym planie) przeznaczeniu terenu (sposobie użytkowania) mogą mieć różną wielkość i często wymagają oceny co do ich podziału na mniejsze obszary. Badania w zakresie oceny zlewni, klasyfikacji cieków i planowania zagospodarowania przeprowadza się na poziomie zlewni cząstkowych z kilku powodów:

- po pierwsze wpływ pokrywy nieprzepuszczalnej na hydrologię, jakość wody i bioróżnorodność w tej (większej skali) łatwo widoczny,
- po drugie, zlewnie cząstkowe są wystarczająco małe, aby nie pomylić źródeł zanieczyszczenia (np. spływy rolnicze, źródła punktowe,), co mogłoby prowadzić do wypracowania błędnych decyzji odnośnie zagospodarowania,
- po trzecie, granice zlewni cząstkowych znajdują się zwykle w obrębie jednej jednostki administracyjnej i łatwiej jest ustalić zwierzchnictwo administracyjne, a także włączyć zainteresowanych (podmioty gospodarcze, społeczności lokalne) w proces zagospodarowania.
- i w końcu wielkość zlewni cząstkowych pozwala na prowadzenie analiz, sporządzanie map i kontynuowanie innych etapów oceny w krótkim przedziale czasowym. Pozwala to na szybką ocenę zagrożeń, sformułowanie celów i koordynację organizacyjną.

**Klasyfikacja zlewni cząstkowych.** Badania będące podstawą przyjętej metodyki wykazały, że wielkość pokrywy nieprzepuszczalnej w zlewni może być użyta do oszacowania obecnej i przyszłej jakości zlewni cząstkowych. W opracowanej metodyce przyjęto zasadę klasyfikacji zlewni cząstkowych na 3 kategorie na podstawie procentowego udziału pokrywy nieprzepuszczalnej. Kategoriami tymi są: **zlewnie niezagrożone, zmienione (zagrożone) i niezdolne do samodzielnego funkcjonowania – samoregeneracji (potencjalnie zagrożone).**

Ustalone kategorie mogą zostać użyte do określenia bieżącej i przyszłej jakości zlewni cząstkowej. Przyjęta metodyka pozwala określić bieżącą pokrywę nieprzepuszczalną zlewni cząstkowej oraz dokonać oceny przyszłej pokrywy nieprzepuszczalnej zlewni na podstawie planu miejscowego. Metodyka zakłada, iż użycie **metody podatności zlewni cząstkowych** stosuje się dla zlewni cząstkowych 3 rzędu i wyższych, gdyż większość badań, na podstawie których została sformułowana metoda, przeprowadzono w takich warunkach.

Metoda podatności zlewni cząstkowych oparta o współczynnik pokrywy nieprzepuszczalnej przeznaczona jest bardziej do przewidywania potencjalnej niż rzeczywistej jakości cieków, która to jakość określana jest na podstawie istniejącego monitoringu środowiska. Obliczanie współczynnika pokrywy nieprzepuszczalnej dla istniejącego zagospodarowania terenu ma na celu podjęcie działań naprawczych lub na określenie docelowo punktu odniesienia dla ewentualnych zmian jakości ekosystemów wodnych, wynikających ze zmian w zagospodarowaniu zlewni. Efektem końcowym jest ustalenie zasad planowania i zagospodarowania zlewni, mających na celu ochronę i „odbudowę” zlewni cząstkowych.

**Metoda przeprowadzania analizy podatności zlewni.** Jak już wspomniano, analiza podatności zlewni jest procesem kilkuetapowym. Podsumowanie części etapów wymaga wykonania oceny i podjęcia decyzji cząstkowych, mających w ostateczności doprowadzić do sporządzenia planu działań niezbędnych do osiągnięcia założonych celów środowiskowych.

**Etap 1: Zebranie (przygotowanie) materiałów źródłowych i kartograficznych.** Celem tego etapu jest zebranie map źródłowych koniecznych do zdefiniowania kluczowych zmiennych w procesie zagospodarowania zlewni, które zostaną oszacowane w kolejnych etapach niniejszej analizy. Podstawowymi danymi niezbędnymi do dalszych prac, które należy uzyskać na podstawie analizy zebranych w procesie przygotowania materiałów, są:

- Powierzchnia zlewni cząstkowej,
- Istniejąca pokrywa nieprzepuszczalna opracowana w oparciu o inwentaryzację,
- Sposób zagospodarowania terenu według jego przeznaczenia na podstawie planów rozwoju – plany zagospodarowania przestrzennego,
- Przyszła pokrywa nieprzepuszczalna opracowana na podstawie planów zagospodarowania terenu,
- Sposób gospodarczego wykorzystania cieków (kąpieliska, ujęcia wody).

Danymi dodatkowymi niezbędnymi do dalszych prac planistycznych tj. do oceny cieków i ich zagrożenia – podatności są:

- Powierzchnia terenów zalesionych i przeznaczonych do zalesienia,
- Powierzchnia gruntów rolnych i charakter ich wykorzystania,
- Powierzchnia obszarów objętych ochroną prawną,
- Ilość dróg o znaczeniu lokalnym i ponadlokalnym,
- Miejsca zrzutu ścieków,
- Charakter istniejącej i przyszłe zabudowy (zwarta – rozproszona).

Podstawowymi mapami umożliwiającymi przygotowanie i ocenę wymienionych powyżej danych są następujące rodzaje podkładów mapowych: mapy topograficzne, mapy hydrologiczne, mapy zagospodarowania terenu oraz mapy przyszłego zagospodarowania terenu. Materiałami pomocniczymi są informacje o: istniejących i planowanych obszarach chronionych, mapy obszarów (terenów) zalewowych, ważne elementy środowiskowe (tereny podmokłe, tereny osuwiskowe), główne urządzenia i kolektory wód opadowych oraz kolektory i urządzenia sanitarne, stacje monitoringu ilościowego i jakościowego wód, źródła wody pitnej (studnie, zbiorniki) oraz główne urządzenia przesyłowe (wodociągi), składowiska odpadów.

**Etap 2: Określenie granic zlewni cząstkowych.** Z metodologicznego punktu widzenia, zlewnie cząstkowe są definiowane jako całkowity obszar, z którego wody odprowadzane są do odbiornika. W rzeczywistości może być konieczne, aby w ramach prac przygotowawczych do analiz dokonywać innych wyborów w określaniu rzeczywistych granic zlewni cząstkowych. W czasie określania granic zlewni cząstkowych należy rozwiązać kilka problemów praktycznych do których należą:

*Wielkość zlewni cząstkowej.* Przy zastosowaniu przyjętej definicji zlewni cząstkowej średnia wielkość zlewni cząstkowej wynosi zwykle od kilku do kilkunastu kilometrów kwadratowych. W większości przypadków może to powodować konieczność wyróżnienia dużej liczby potencjalnych zlewni cząstkowych do zbadania. W takich przypadkach, należy łączyć zlewnie cząstkowe, a tak skonstruowaną zlewnię częściową należy definiować jako całkowitą powierzchnię, z której wody są odprowadzane do punktu tuż poniżej zbiegu cieków wyższego rzędu.

*Granice administracyjne.* O ile to możliwe, granice zlewni powinny być tak określone, aby w całości zawierały się w granicach jednej jednostki administracyjnej (miasta lub gminy). Pozwoli to na znaczne uproszczenie procesu planowania.

*Jednorodne wykorzystanie terenu.* O ile to możliwe w granicach zlewni cząstkowych powinny znajdować się tereny o takim samym lub podobnie zróżnicowanym sposobie zagospodarowania terenu. Jeśli zlewnia cząstkowa zawiera tereny o skrajnie różnym sposobie ich wykorzystania (tereny rolne i intensywna zabudowa mieszkaniowa), zaleca się rozdzielenie obszaru na dwie zlewnie cząstkowe

*Stawy, jeziora, zbiorniki wodne.* O ile to możliwe, granice zlewni cząstkowych powinny być wyrysowane aż do odpływu z każdego stawu, jeziora czy zbiornika położonego na głównym cieku zlewni cząstkowej. Jeśli w obrębie zlewni cząstkowej następuje przejście z wody płynącej do stojącej, to tworzy się ostra nieciągłość w składzie i jakości środowiska wodnego.

*Istniejące punkty monitoringu.* Granice zlewni cząstkowych powinny obejmować istniejące punkty monitoringu. Poza tym celowym jest określenie granic zlewni cząstkowych (o ile jest konieczny ich podział) na głównych skrzyżowaniach dróg czy przy mostach, gdyż często te miejsca pokrywają się z dostępem do cieków i docelowo z ewentualną możliwością założenia punktów monitoringowych.

*Obszar bezpośrednich dopływów – zlewnia bezpośrednia.* Obszar bezpośrednich dopływów jest ciągle powtarzającym się problemem przy określaniu granic zlewni cząstkowych w kontekście większych zlewni. Problem ten powstaje kiedy strumienie trzeciego czy czwartego rzędu wpływają do drugorzędowych odgałęzień cieku głównego. Powoduje to powstanie małych klinów wzdłuż głównego koryta, które są za małe, aby tworzyć zlewnie cząstkowe, ale wymagają jednak włączenia w analizę. Metodyka zakłada, że łączy się je w obszar bezpośrednich dopływów po obu stronach głównego strumienia i grupuje w złożoną zlewnię cząstkową, jeśli ich połączona powierzchnia nie przekracza powierzchni kilkunastu kilometrów kwadratowych.

**Etap 3: Określenie obecnego i przyszłego zagospodarowania terenu.** Zanim określimy obecną (etap 4) i przyszłą (etap 7) pokrywą nieprzepuszczalną, dobrze jest sprawdzić informacje o obecnym i przyszłym wykorzystaniu terenu.

W celu dokładnego określenia obecnej i przyszłej pokrywy nieprzepuszczalnej w zlewni cząstkowej, konieczne są dodatkowe informacje o wykorzystaniu terenu poza źródłami kartograficznymi. Takie informacje można uzyskać w lokalnych wydziałach planowania gmin lub miast. Informacje które należy zebrać na tym etapie to: plany zabudowy, które są w przygotowaniu i zostaną ukończone przed procesem planowania zlewni, plany dotyczące terenów we własności gminy, takich jak szkoły, kompleksy sportowe i parki, tereny, których wykorzystanie jest ograniczone przez względy ekologiczne, plany odnośnie dużych działek prywatnych, obecne i planowane układy komunikacyjne, obszary problemowe, co do których nie podjęto decyzji o sposobie zagospodarowania.

W wielu przypadkach, obecne wykorzystanie terenu i pokrywa nieprzepuszczalna mogą być ustalone bezpośrednio na podstawie zdjęć lotniczych. Jednak na szybko rozwijających się terenach nieoszacowanie, jak i przeszacowanie pokrywy nieprzepuszczalnej może stwarzać w przyszłości problemy. Dlatego też określoną pokrywą nieprzepuszczalną należy zweryfikować w oparciu o prognozy rozwoju oparte na analizie makroekonomicznej. W praktyce oznacza to weryfikację planów miejscowych w oparciu o regionalne dokumenty planistyczne w których zawarte są inwestycje o znaczeniu ponadlokalnym (drogi szybkiego ruchu), lub ograniczenia wynikające ze zobowiązań międzynarodowych (Obszary Natura 2000), które nie zostały jeszcze uwzględnione w planach miejscowych.

Przenosząc proponowaną metodykę na warunki polskie, określenie istniejącego i przyszłego zagospodarowania terenu powinno opierać się głównie na miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego, weryfikowane, opierając się na planach zagospodarowania przestrzennego województw (inwestycje o znaczeniu regionalnym – kontrakty wojewódzkie) i Narodowy Plan Rozwoju Regionalnego.

***Etap 4: Oszacowanie obecnej pokrywy nieprzepuszczalnej w zlewniach cząstkowych.*** Istnieje kilka metod określenia pokrywy nieprzepuszczalnej na poziomie zlewni cząstkowych. Decyzja, która metoda będzie najlepsza dla konkretnej zlewni cząstkowej, zależy w dużej mierze od środków finansowych i dostępności danych pomiarowych. Jedną z najbardziej pracochłonnych ale zarazem najdokładniejszych metod jest pomiar bezpośredni. Metoda ta polega na bezpośrednim pomiarze wszystkich komponentów pokrywy nieprzepuszczalnej. Do komponentów tych należą: parkingi, budynki, drogi, podjazdy i chodniki. Jednym z najefektywniejszych sposobów pomiaru tych komponentów jest metoda GIS. Do danych GIS koniecznych do wyliczenia pokrywy nieprzepuszczalnej należą cyfrowe dane planimetryczne (ortofotomapy) dla każdego z komponentów pokrywy nieprzepuszczalnej. Informacje od władz lokalnych mogą być pomocne w identyfikacji rozbieżności, jeśli dane GIS są nieaktualne. W warunkach polskich jedynym dostępnym i weryfikowalnym dokumentem są zdjęcia lotnicze oraz załączniki graficzne do miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, weryfikowane w przypadku ich dezaktualizacji.

**Główny wynik A – wstępna klasyfikacja zlewni cząstkowych.** Po zrealizowaniu pierwszych 4 etapów i określeniu istniejącej pokrywy nieprzepuszczalnej, można przystąpić do wstępnej klasyfikacji zlewni cząstkowych. Na tym początkowym etapie można wstępnie zaklasyfikować zlewnie cząstkowe do następujących kategorii zgodnie z przyjętą metodyką: wrażliwe (niezagrożone), zmienione (zagrożone) i niezdolne do samodzielnego funkcjonowania – samoregeneracji (potencjalnie zagrożone)

**Etap 5: Ocena potencjału ekologicznego ciek.** Wielkość pokrywy nieprzepuszczalnej jest jedynie wskaźnikiem, mogącym świadczyć o zagrożeniach dla dobrego potencjału ekologicznego ciek. Wyniki badań terenowych mogą dostarczyć ważnych informacji w procesie klasyfikacji zlewni, szczególnie kiedy zlewnia cząstkowa klasyfikowana w oparciu o współczynnik pokrywy nieprzepuszczalnej jest na granicy między jedną kategorią a drugą. Opracowana metodyka zakłada dodatkową analizę 10 ogólnie dostępnych wskaźników środowiskowych, aby zdecydować, czy ciek o cechach na granicy kategorii należy zaliczyć do wrażliwych, zmienionych czy niezdolnych do samodzielnego funkcjonowania. Jeśli monitoring zmierzający do oceny jakości ciek wykaże spełnienie przynajmniej 5 kryteriów, zlewnia jest klasyfikowana jako wrażliwa (niezagrożona), nawet jeśli ma nieco więcej niż 10% powierzchni nieprzepuszczalnej. Podobnie, jeśli zlewnia cząstkowa spełnia 1–5 kryteriów, jest tymczasowo klasyfikowana jako wrażliwa-rekonstruowalna, nawet jeśli ma mniej niż 10% powierzchni nieprzepuszczalnej. Dodatkowymi kryteriami do oceny jakości ekologicznej ciek są następujące informacje:

- Dane dotyczące obecności rzadkich, zagrożonych lub wymierających gatunkach w środowiskach wodnych (np. mięczaków, płazów).
- Potwierdzone tarliska wrażliwych gatunków ryb.
- Dobra jakość zbiorowisk bezkręgowców.
- Więcej niż 65% gatunków wśród makrobezkręgowców.
- Brak barier blokujących przemieszczanie się ryb między zlewniami cząstkowymi i głównym ciek.
- Informacje o zmianach morfologicznych w korycie ciek – erozja denna lub zamulanie zmiany koryta, prace regulacyjne, melioracja.
- Informacje o jakości wody w ciek – brak odstępstw od norm w okresie stanów niskich SNQ.
- Określenie stopnia zagospodarowania ciek wodnego i jego doliny – niewielki stopień zagospodarowania, tereny zalewowe połączone z ciekim głównym (brak obwałowań, ciągów komunikacyjnych, urządzeń hydrotechnicznych).
- Informacja czy wody ze zlewni cząstkowej są odprowadzane do ciek zasilającego poniżej ujęcia wody powierzchniowej.
- Uznanie jakości siedlisk w strumieniu przynajmniej jako dobrych.



**Etap 6: Ocena przyrodniczej jakości zlewni cząstkowej.** Aby ostatecznie ustalić klasyfikację zlewni i uszeregować je pod względem priorytetów, ocenia się serię wskaźników „przyrodniczych”. Metodyka zakłada ocenę zlewni cząstkowej poprzez analizę 10 wskaźników, aby umożliwić klasyfikację zlewni znajdujących się na granicy kategorii. Jeśli ocena zlewni cząstkowej wykaże, że spełnia ona przynajmniej 5 z tych kryteriów, zlewnia jest klasyfikowana jako wrażliwa, nawet jeśli zawiera nieco więcej niż 10% powierzchni nieprzepuszczalnej. Jeśli zlewnia spełnia więcej niż 3 takie kryteria, dodatkowo klasyfikowana jest jako wrażliwa **rekonstruowana, zmieniona rekonstruowana** lub **niezdolna do samodzielnego podtrzymywania rekonstruowana**, niezależnie od powierzchni nieprzepuszczalnej. Omawianymi kryteriami są:

- Obecność rzadkich, zagrożonych lub wymierających populacji roślin i zwierząt.
- Udział podmokłych terenów zalewowych i żeremi bobrów w gruncie rzeczy ponad 10% udziału w powierzchni zlewni.
- Tereny objęte ochroną stanowić mają więcej niż 10% powierzchni zlewni.
- Pokrycie powierzchnią leśną ponad 50% doliny rzecznej, a las ten jest własnością publiczną lub znajduje się pod kontrolą prawną.
- Obecność dużych obszarów przyległego lasu i więcej niż 40% zlewni jest pokryte lasem.
- Znaczna część zlewni cząstkowej jest własnością publiczną i pod zarządem publicznym.
- Dolina cieków tworzą ciągły system w całej zlewni cząstkowej.
- Zlewnia cząstkowa jest połączona ze zlewnią niższego rzędu poprzez niezaburzony korytarz ekologiczny, pozwalający na wymianę elementów przyrodniczych.
- Uprawa roślin i hodowla zwierząt w zlewni prowadzone są zgodnie z najlepszymi zasadami dobrej praktyki rolniczej i rolnictwa ekstensywnego.
- We wcześniejszej zabudowie zlewni cząstkowej uwzględniono zagospodarowanie wód opadowych, umożliwiające ich jakościową i ilościową kontrolę.

**Główny wynik B – ostateczna klasyfikacja zlewni cząstkowych.** Po wykonaniu czynności określonych w etapach od 1 do 6, można dokonać ostatecznej klasyfikacji zlewni cząstkowych, na podstawie zebranych informacji na temat doliny cieków (doliny rzecznej) oraz ocenę przyrodniczą zlewni cząstkowych. Ostateczna klasyfikacja zlewni cząstkowych opiera się na ich podziale na trzy wspomniane kategorie:

- A. Niezagrożone – wrażliwe,
- B. Zagrożone – zmienione,
- C. Niezdolne do samodzielnego funkcjonowania.

**Etap 7: Określenie przyszłej pokrywy nieprzepuszczalnej w zlewniach cząstkowych.** Aby przewidzieć przyszłą pokrywę nieprzepuszczalną, można zastosować prostą procedurę opartą na już ustalonej zależności wykorzystania terenu i powierzchni nieprzepuszczalnej, opartej na planach realizacyjnych, oraz na informacji o działkach i przeznaczeniu terenu wynikających z planów zagospodarowania terenu. Metodologia opisana poniżej zakłada, że przyszła pokrywa nieprzepuszczalna będzie reprezentować maksymalny możliwy stopień zagospodarowania (zabudowy) zlewni cząstkowej. W celu określenia stopnia zabudowy terenu należy:

*Krok 1.* Zidentyfikować działki niezabudowane w każdej z grup zagospodarowania terenu (tereny zabudowy mieszkaniowej, tereny usługowe, lasy).

*Krok 2.* Wyeliminować obszary nie nadające się pod zabudowę (tereny zalewowe, tereny podmokłe, tereny osuwiskowe, strome zbocza, tereny objęte ochroną).

*Krok 3.* Pomnożyć powierzchnię każdej działki niezabudowanej przez średnią powierzchnię pokrywy nieprzepuszczalnej odpowiadającą danej kategorii zagospodarowania terenu.

*Krok 4.* Obliczyć powierzchnię planowanych autostrad i głównych dróg i dodać tę wartość do sumy powierzchni nieprzepuszczalnej dla wszystkich typów zagospodarowania terenu w zlewni cząstkowej.

*Krok 5.* Dodać planowaną powierzchnię pokrywy nieprzepuszczalnej do powierzchni już istniejącej, w wyniku czego otrzymamy się całkowitą powierzchnię przyszłej pokrywy nieprzepuszczalnej.

*Krok 6.* Podzielić całkowitą przyszłą powierzchnię pokrywy nieprzepuszczalnej przez całkowitą powierzchnię zlewni cząstkowej, aby otrzymać procentowy udział pokrywy nieprzepuszczalnej.

W tabeli 1 podano szacunkowe udziały pokrywy nieprzepuszczalnej w różnych formach (typach) użytkowania terenu, w oparciu o przeprowadzone w ostatnich latach badania w amerykańskim Centrum Ochrony Zlewni:

**Tabela 1.** Oszacowanie pokrywy nieprzepuszczalnej  
**Table 1.** Estimation of land cover value

Sposób wykorzystania terenu	Liczba działek	Średnia wartość pokrywy nieprzepuszczalnej
Tereny rolnicze	8	1,9%
Otwarte tereny miejskie	11	8,6%
Działki mieszkaniowa (1 ha)	12e	10,6%
Działki mieszkaniowe (0,5 ha)	23	14,3%
Działki mieszkaniowe (25 a)	20	21,2%
Działki mieszkaniowe (10 a)	23	27,8%
Działki mieszkaniowe (5 a)	10	32,6%
Domy mieszkalne wielorodzinne	18	44,4%
Zabudowa publiczna	30	34,4%
Przemysł lekki	20	53,4%
Zabudowa komercyjna	23	72,2%

**Główny wynik C – identyfikacja najbardziej podatnych zlewni cząstkowych.** Po określeniu bieżącej i przyszłej klasyfikacji zlewni cząstkowych, można ustalić zlewnie cząstkowe najbardziej podatne na zmiany w sposobie wykorzystania terenu. Przy ocenie podatności zlewni cząstkowej należy rozważyć następujące pytanie:

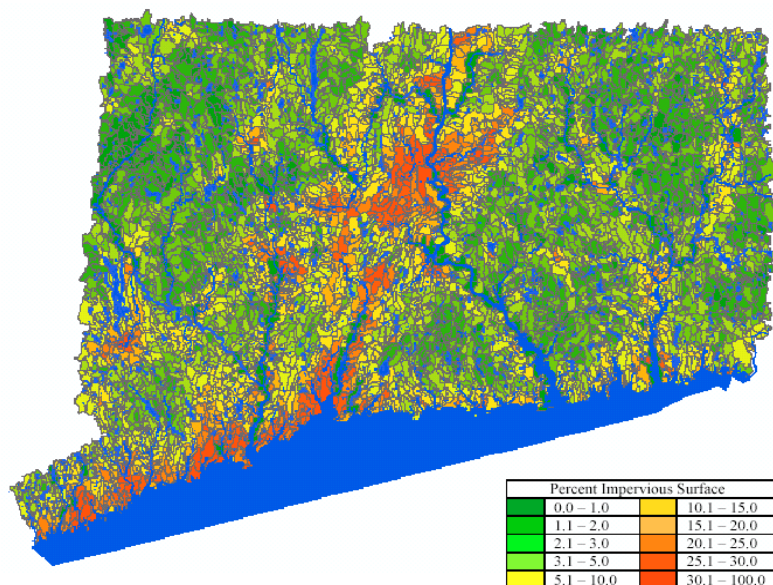
- Czy zlewnia odprowadza wody do szczególnie ważnych wód, jak zbiornik wody pitnej czy estuarium, które warunkuje życie np. mięczaków.
- Czy klasyfikacja zlewni cząstkowych ulegnie zmianie (np. zmiana z „wrażliwej” na „zmienioną”).
- Czy klasyfikacja zlewni cząstkowej jest bliska zmiany (np. przyszłą pokrywą nieprzepuszczalną ocenia się na 10%).
- Jaka jest wartość bezwzględna zmiany pokrywy nieprzepuszczalnej (np. zlewnia cząstkowa, której pokrywa nieprzepuszczalna zmienia się z 5% do 14% może być bardziej podatna niż zlewnia cząstkowa z pokrywą nieprzepuszczalną zmieniającą się z 6% do 12%).

**Etap 8: Ocena zdolność zlewni do odbudowy (restytucji).** Ostatnim krokiem w analizie podatności zlewni jest uszeregowanie zlewni pod względem priorytetów odbudowy (restytucji). Pozycja zlewni cząstkowej w tym uszeregowaniu jest ustalana względem innych zlewni cząstkowych w obszarze badań. Do ustalenia rankingu zlewni cząstkowej w planowaniu i wdrożeniu planów stosuje się następujące kryteria:

- Podatność zlewni, zgodnie z ustaleniami w rozdziale „Główny wynik C”.
- Przeznaczenie wód, do których dopływa woda w zlewni cząstkowej.
- Obecność znaczących siedlisk wodnych gatunków wymierających (jeśli są obecne, pozycja w rankingu jest wyższa).
- Jaka część terenu uważana jest za obszar objęty ochroną o dużym znaczeniu (im większa jest ta część, tym wyższa pozycja w rankingu).
- Jaka część zlewni cząstkowej jest możliwa do zabudowania (im większa jest ta część tym wyższa pozycja w rankingu).
- Jaka jest presja na zabudowę w zlewni cząstkowej, oszacowana na podstawie planu rozwoju i czy blisko znajdują się duże korytarze transportowe, czy jest dostęp do infrastruktury, jakie jest tempo wzrostu zaludnienia (im większa presja, tym wyższa pozycja w tym rankingu).
- Jaka część terenu jest własnością publiczną, co zmniejsza koszty nabycia ziemi na cele związane z ochroną, ochroną korytarzy nadrzecznych i wyposażenie urządzeń odprowadzających wody deszczowe (im większa jest ta część tym wyższa pozycja w rankingu).
- Obecność lokalnych organizacji zaangażowanych w ochronę zlewni cząstkowej lub znaczące zaangażowanie społeczności czy inwestorów w proces planowania zlewni cząstkowej (jeśli czynniki te są obecne, pozycja w rankingu jest wyższa).
- Dostępność środków finansowych i pracowników koniecznych do wdrożenia planu (jeśli są dostępne, pozycja w rankingu jest wyższa).

**Główny wynik D – ranking priorytetowości zlewni cząstkowych pod względem wdrożenia planu.** Głównym wynikiem analizy podatności zlewni jest ustalenie rankingu zlewni cząstkowych pod względem konieczności szybkiego przygotowania planów i ich wdrożenia. Jednakże przy ustaleniu ostatecznego harmonogramu implementacji planów zagospodarowania zlewni cząstkowych należy uwzględnić praktyczną stronę wdrażania planów zagospodarowania zlewni. Z uwagi na uwarunkowania finansowe wydaje się celowym, aby pierwsza grupa opracowanych planów zawierała plany działań dla zlewni cząstkowych sklasyfikowanych w każdej kategorii. Choć cele zagospodarowania poszczególnych zlewni cząstkowych są różne, narzędzia i sposoby stosowane do osiągnięcia założonego celu w obrębie każdej kategorii zagospodarowania zlewni cząstkowych będą podobne. Dlatego opracowanie planu zlewni cząstkowych, należących do różnych kategorii spowoduje, że będą gotowe wzory do opracowania planów zlewni cząstkowych w przyszłości. Ponadto narzędzia użyte do planowania, ochrony i restytucji w pierwszym cyklu opracowania planów zlewni, można zastosować do wszystkich zlewni w obszarze badań jako rozwiązane tymczasowe, dopóki nie pojawią się środki na opracowanie i wdrożenie pozostałych planów zlewni cząstkowych. Jeśli takie rozwiązanie zostanie zastosowane, należy postępować rozważnie, aby szczególnie wrażliwe zlewnie cząstkowe, nie ujęte w pierwszym cyklu planowania, nie zostały stracone. Poniżej przedstawiono klasyfikację zlewni cząstkowych zrealizowaną w dużej zlewni rzecznej wykonaną przez amerykańskie Centrum Ochrony Zlewni:

**Zasady adaptacji metody LCM do warunków polskich.** Podstawowe znaczenie dla poprawności analizy ma określenie skali zlewni i podziału obszaru planowania na zlewnie cząstkowe, wynikającego z przyjętej skali (tab. 2). Jak wynika z tabeli, analiza podatności zlewni na zmiany ekologiczne powinna być prowadzona z uwzględnieniem podziału na małe obszary, w zależności od rodzaju zagospodarowania terenu. Skala zlewni, czyli powierzchniowy wymiar analizy, oznacza wielkość obszaru wybranego do oceny zagospodarowania. Obszar, z którego wody odprowadzane są do danego odbiornika, może charakteryzować kilka sposobów zagospodarowania terenu, które należy uwzględnić w analizie. W polskich warunkach podstawowym obszarem, dla którego prowadzone będą analizy zagospodarowania terenu, jest obszar lub fragment gminy, dla którego wykonywane są szczegółowe plany zagospodarowania przestrzennego. Ta jednostka będzie również podstawą podziału zlewni głównej (części dorzecza) na zlewnie cząstkowe. Wydaje się na podstawie przeprowadzonych już w warunkach polskich analiz, iż typową analizowaną powierzchnią powinny być zlewnie lub ich fragmenty o powierzchni od kilku do kilkunastu kilometrów kwadratowych. Wynika to ze specyfiki uwarunkowań morfologicznych przeważających na obszarze Polski.



**Rysunek 5.** Klasyfikacja zlewni cząstkowych  
**Figure 5.** Classification of subwatershed

**Tabela 2.** Skalowanie zlewni dla celów planowania dla warunków polskich  
**Table 2.** Scalling of catchment for palnning in polish conditions

Jednostka zlewniowa (drenażowa)	Typowa powierzchnia (km <sup>2</sup> )	Wpływ pokrywy nieprzepuszczalnej	Metody zagospodarowania
Zlewnia cząstkowa (Catchment)	do 1,5	Bardzo silny Bardzo znaczący	Zagospodarowanie spływów deszczowych – burzowych, projektowanie w skali działek (plany realizacyjne)
Zlewnia częściowa (Subwatershed)	1,5–15	Silny – znaczący	Klasyfikacja i zagospodarowanie cieków (planowanie gminne)
Zlewnia (Watershed)	15–250	Średni – umiarkowany	Tworzenie stref w obrębie zlewni (części wód)
Część dorzecza (Subbasin)	250–5000	Słaby	Planowanie w skali części dorzecza (regionalne)
Dorzecze (Basin)	5000–50 000	Bardzo słaby	Planowanie w skali dorzecza (regionalne i ponad regionalne)

Klasyfikacja zlewni cząstkowych. W opracowanej metodzie bazującej na metodyce amerykańskiej przyjęto zasadę jakościowej klasyfikacji zlewni cząstkowych na trzy kategorie na podstawie procentowego udziału pokrywy nieprzepuszczalnej. Kategoriami tymi są:

- zlewnie niezagrożone o dobrym potencjale ekologicznym,
- zagrożone – zmienione,
- zlewnie niezdolne do samodzielnego funkcjonowania, opartego na możliwości samoregeneracji stanu ekologicznego.

Bazując na powyższym podziale przyjęto zasadę klasyfikacji zlewnie cząstkowych na podstawie procentowego udziału pokrywy nieprzepuszczalnej (tab. 3).

**Tabela 3.** Klasyfikacja zlewni cząstkowych  
**Table 3.** Classification of subwatersheds

Kategoria zlewni cząstkowej	Opis stanu zagospodarowania
Kategorie wyprowadzone z analizy pokrywy nieprzepuszczalnej	
1. Zlewnie o dobrym potencjale ekologicznym niezagrożone – wrażliwe	Udział pokrywy nieprzepuszczalnej w zlewni cząstkowej wynosi zwykle od 0 do 10%. Cieki są dobrej jakości, płyną w stabilnych korytach, struktura siedlisk i jakość wody są dobre lub bardzo dobre, występują zbiorowiska ryb i owadów wodnych o dużej różnorodności. Ze względu na niski udział pokrywy nieprzepuszczalnej, nie występują częste powodzie i inne zmiany hydrologiczne towarzyszące urbanizacji.
2. Zlewnie zagrożone (zmienione)	Udział pokrywy nieprzepuszczalnej w zlewni cząstkowej wynosi od 11 do 25%. Zlewnia wykazuje wyraźne oznaki degradacji spowodowanej przez urbanizację. Większe spływy burzowe zaczynają zmieniać geometrię koryt cieków. W korytach aluwialnych wyraźnie zaznacza się erozja i poszerzenie koryta. Brzegi cieków stają się niestabilne i jakość siedlisk spada znacząco. Jakość wody w ciekach zmienia się na dostateczną/dobłą zarówno w czasie burz jak i suszy. Obniża się bioróżnorodność do poziomu dostatecznego, przy czym najbardziej wrażliwe ryby i owady wodne znikają z ekosystemu wodnego.
3. Zlewnie niezdolne do samodzielnego funkcjonowania (samoregeneracji)	Udział pokrywy nieprzepuszczalnej w zlewni cząstkowej przekracza 25%. Cieki w tej kategorii zlewni w rzeczywistości stają się „kanałami” do odprowadzania spływów burzowych i nie są już w stanie podtrzymywać różnorodnych zbiorowisk. Koryta cieków są niestabilne. Ich odcinki mogą ulec znacznemu poszerzeniu i erozji w głębszej. Erozji ulegają także brzegi. Struktura sadzawek i progów, konieczna do życia ryb zmniejsza się lub zanika a podłoże strumienia nie może już tworzyć siedlisk dla owadów wodnych czy miejsc tarła dla ryb. Jakość wody jest stale oceniana jako dostateczna lub zła. Rekreacja w kontakcie z wodą nie jest możliwa z powodu wysokiej zawartości bakterii. Jakość biologiczna takich strumieni jest generalnie uważana za złą – strumienie są zdominowane przez owady i ryby tolerujące zanieczyszczenia.

W celu prawidłowej oceny zagrożeń zaproponowano następujący sposób postępowania oparty o kolejne cztery kroki, wymagające oceny i podsumowania:

**Krok 1.** Wybór obszaru planowania i podział obszaru na zlewnie częściowe:

- Zebranie materiałów wyjściowych w tym źródeł kartograficznych;
- Określenie granic zlewni częściowych;
- Określenie zagospodarowania terenu;
- Określenie istniejącej pokrywy nieprzepuszczalnej.

**Krok 2.** Ostateczny podział zlewni na zlewnie częściowe:

- Ocena jakości cieków;
- Ocena zlewni częściowych.

**Krok 3.** Opracowanie rankingu najbardziej podatnych zlewni częściowych:

- Określenie przyszłej pokrywy nieprzepuszczalnej.

**Krok 4.** Określenie działań zmierzających do poprawy zlewni częściowych:

- Oszacowanie możliwości działań naprawczych.

**Krok 1 – Wybór obszaru planowania.** Podstawowym zadaniem przy przystąpieniu do prac jest określenie dwóch wielkości: obszaru planowania i wynikającego z tej decyzji podziału obszaru planowania na zlewnie częściowe. Obszar planowania to część obszaru dorzecza wybrana do oceny sposobu zagospodarowania. Obszar ten najczęściej posiada kwalifikację użytkowania i zawiera kilka lub kilkanaście dopuszczalnych sposobów zagospodarowania terenu. Obszary (jednostki terytorialne) o określonym w miejscowym planie przeznaczeniu terenu mogą mieć różną wielkość i często wymagają indywidualnej oceny co do ich podziału na mniejsze obszary. W polskich warunkach podstawowym obszarem, dla którego prowadzone są analizy, jest obszar gminy, adekwatnym podziałem zlewni głównej (części dorzecza) na zlewnie częściowe. Jako założenie wyjściowe, do skalowania dla celów analizy podatności zlewni, przyjęto podział obszaru analizy w oparciu o zlewnie 3-rzędu oraz zlewnie bezpośrednie cieków 2-rzędu o wielkości od kilku do kilkunastu kilometrów kwadratowych (zlewnie częściowe)

**Zebranie materiałów źródłowych w tym kartograficznych.** Celem tego etapu jest zebranie map źródłowych koniecznych do zdefiniowania kluczowych zmiennych w procesie zagospodarowania zlewni, które zostaną oszacowane w kolejnych etapach analizy. Podstawowymi danymi niezbędnymi do dalszych prac, są: powierzchnia zlewni częściowej, istniejąca pokrywa nieprzepuszczalna określona w oparciu o inwentaryzację, sposób zagospodarowania terenu według jego przeznaczenia w oparciu o plany rozwoju – plany zagospodarowania przestrzennego, przyszła pokrywa nieprzepuszczalna opracowana w oparciu o plany zagospodarowania terenu.

Podstawowymi mapami umożliwiającymi przygotowanie i ocenę wymienionych powyżej danych są następujące rodzaje podkładów mapowych dostępne w warunkach polskich:

Mapy podstawowe – mapy topograficzne w skali od 1:10 000 do 1:100 000, mapy hydrologiczne w skali od 1:50 000 do 1:100 000, mapy sozologiczne w skali 1:50 000, mapy zasadnicze zagospodarowania terenu w skali od 1:2000 do 1:10 000, mapy zasadnicze przyszłego zagospodarowania terenu w skali od 1:2000 do 1:10 000, zdjęcia lotnicze (ortofotomapy).

Mapy i materiały pomocnicze – istniejące i planowane obszary chronione (strefy ochronne, obszary Natura 2000), obszary ochrony przyrodniczej w skali od 1:50 000 do 1:100 000, mapy obszarów (terenów) zalewowych w skali 1:10 000, ważne elementy środowiskowe (tereny podmokłe, tereny osuwiskowe, rezerваты i pomniki przyrody, użytki ekologiczne) w skali od 1:10 000 do 1:50 000, główne urządzenia i kolektory wód opadowych w skali od 1:500 do 1:2000, główne urządzenia sanitarne i kolektory sanitarne w skali od 1:500 do 1:2000, stacje monitoringu ilościowego i jakościowego wód, mapy katastralne w skali 1:2000 w celu określenia własności terenu (publiczna, prywatna), źródła wody pitnej (studnie, zbiorniki) oraz główne urządzenia przesyłowe (wodociągi), mapy glebowe w skali 1:2000.

**Określenie granic zlewni cząstkowych.** Z metodologicznego punktu widzenia istotnymi zagadnieniami są:

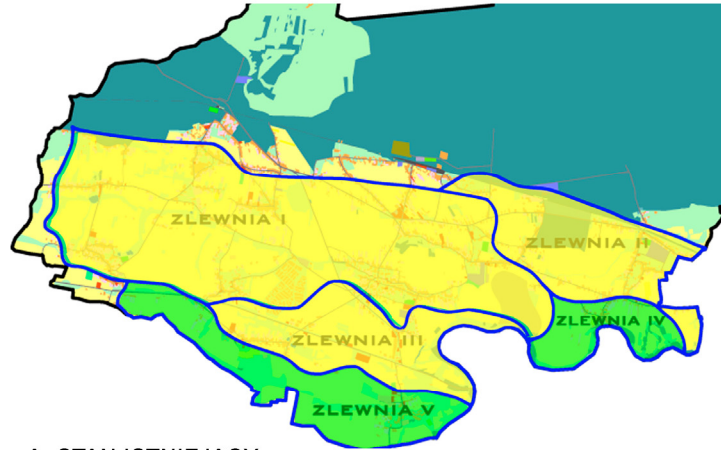
**Wielkość zlewni częściowej.** Przy zastosowaniu przyjętej definicji zlewni częściowej średnia wielkość zlewni wynosi zwykle od kilku do kilkunastu kilometrów kwadratowych.

**Granice administracyjne.** O ile to możliwe, granice zlewni powinny być tak określone, aby w całości zawierały się w granicach jednej jednostki administracyjnej (miasta lub gminy).

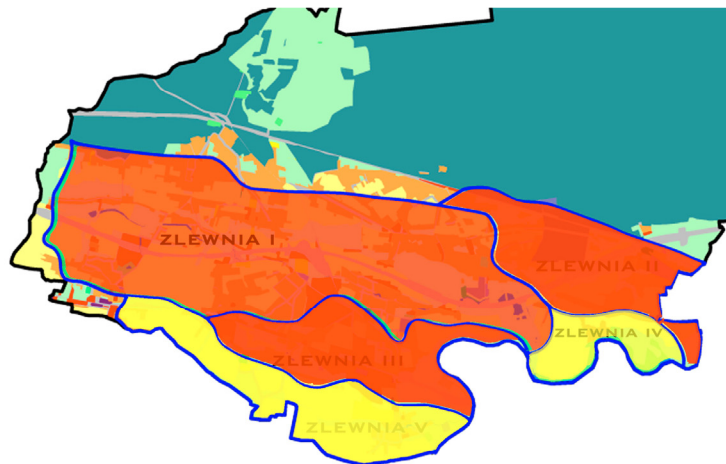
**Jednorodne wykorzystanie terenu.** O ile to możliwe, granice zlewni cząstkowych powinny zamykać tereny o podobnym zagospodarowaniu terenu. Jeśli zlewnia częściowa zawiera tereny o skrajnie różnym sposobie ich wykorzystania (tereny rolne i intensywną zabudowę mieszkaniową), zaleca się rozdzielanie obszaru na dwie zlewnie cząstkowe.

Poniżej przedstawiono przykładowy podział na zlewnie cząstkowe terenu gminy Kłaj, gdzie zostało wydzielonych 5 zlewni cząstkowych. Obejmują one zlewnie potoków bez nazwy (zlewnie nr 1, 2, 3 i 5 – zlewnie 3 rzędu) oraz bezpośrednich dopływów rzeki Raby – zlewnia nr 2. Zlewnie nr 1, 3 i 4 położone są całkowicie na terenie gminy Kłaj. Powierzchnie zlewni 2 i 5 zostały ograniczone do granic administracyjnych gminy Kłaj zgodnie z obowiązującą i opisaną metodyką (etap 2). Z analizy wyłączona została znacząca część gminy Kłaj (około 60%), z uwagi na jej położenie na terenie zlewni bezpośredniej Wisły. Wyłączony teren obejmuje 88% obszaru Puszczy Niepołomickiej. Zestawienie powierzchni gminy i zlewni cząstkowych przedstawiono w poniższej tabeli, a usytuowanie zlewni na tle gminy pokazano na załączniku graficznym (rys. 6.).





A. STAN ISTNIEJĄCY



B. STAN PROJEKTOWANY

USZCZELNIENIE PODŁOŻA (w %)	
Green	0-5
Yellow	5-10
Orange	10-20
Dark Orange	20-30

**Rysunek 6.** Uszczelnienie zlewni cząstkowych dorzecza Raby położonych na terenie gminy Kłaj  
**Figure 6.** The Kłaj commune subbasins land cover on the Raba catchment area

**Tabela 4.** Zestawienie powierzchni gminy i zlewni cząstkowych  
**Table 4.** Listing of commune area and subwatersheds

Gmina	Powierzchnia
Kłaj	82 898 266 m <sup>2</sup>
Zlewnia 1	16 413 771 m <sup>2</sup>
Zlewnia 2	4 791 254 m <sup>2</sup>
Zlewnia 3	4 633 695 m <sup>2</sup>
Zlewnia 4	1 890 068 m <sup>2</sup>
Zlewnia 5	4 484 555 m <sup>2</sup>
Zlewnie łącznie	32 213 343 m <sup>2</sup>

**Określenie obecnego i przyszłego (planowanego) zagospodarowanie terenu.** W celu dokładnego określenia obecnej i przyszłej pokrywy nieprzepuszczalnej w zlewni cząstkowej, konieczne są dodatkowe informacje o wykorzystaniu terenu, uszczelnieniu ze źródeł kartograficznych. W warunkach polskich określenie istniejącego i przyszłego zagospodarowania terenu powinno opierać się głównie na miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego.

**Określenie istniejącej pokrywy nieprzepuszczalnej w zlewniach cząstkowych.** Istnieje kilka metod obliczenia pokrywy nieprzepuszczalnej na poziomie zlewni cząstkowych. Decyzja, która metoda będzie najlepsza dla konkretnej zlewni cząstkowej, zależy w dużej mierze od dostępności danych pomiarowych i od środków finansowych. W warunkach polskich jedynym dostępnym dokumentem są załączniki graficzne do miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, weryfikowane w przypadku ich dezaktualizacji w oparciu o badania terenowe i ewentualnie o zdjęcia lotnicze.

**Podsumowanie kroku 1. – wstępna klasyfikacja zlewni cząstkowych.** Po zrealizowaniu pierwszych 4 etapów i określeniu istniejącej pokrywy nieprzepuszczalnej, można przystąpić do wstępnej klasyfikacji zlewni cząstkowych. Na tym początkowym etapie, zlewnie częściowe zaklasyfikować można do omówionych wcześniej kategorii: wrażliwe (niezagrożone), zmienione (zagrożone) i niezdolne do samodzielnego funkcjonowania – samoregeneracji (potencjalnie zagrożone).

## **Krok 2 – ostateczny podział na zlewnie cząstkowe**

### **Ocena potencjału ekologicznego cieków**

Wielkość pokrywy nieprzepuszczalnej jest jedynie wskaźnikiem mogącym świadczyć o zagrożeniach dla dobrego potencjału ekologicznego cieków. Wyniki badań i analiz terenowych mogą dostarczyć ważnych informacji w procesie klasyfikacji zlewni, szczególnie wówczas, gdy zlewnia cząstkowa została sklasyfikowana na granicy między jedną kategorią a drugą, na podstawie współczynnika pokrywy nieprzepuszczalnej. Opracowana metoda zakłada dodatkową analizę

kilku ogólnie dostępnych wskaźników środowiskowych takich jak: informacje o obecności rzadkich lub zagrożonych gatunkach w środowiskach wodnych (mięczaki, płazy), potwierdzone tarliska wrażliwych gatunków ryb, dobra jakość zbiorowisk bezkręgowców, brak barier blokujących przemieszczanie się ryb między zlewniami cząstkowymi i głównym ciekim, zmiany morfologiczne koryta rzeki.

#### **Przyrodnicza ocena jakości zlewni cząstkowej**

Aby ostatecznie ustalić klasyfikację zlewni cząstkowych w danym obszarze i uszeregować je pod względem priorytetów, ocenia się serię wskaźników „przyrodniczych”. Metoda zakłada ocenę zlewni cząstkowej poprzez analizę kilku wskaźników, które charakteryzują: występowanie na terenie zlewni rzadkich, populacje roślin i zwierząt, występowanie terenów podmokłych, naturalnych terenów zalewowych, terenów objętych ochroną prawną, występowanie obszarów zalesionych, prowadzenie uprawy roślin i hodowli zwierząt w zlewni zgodnie z dobrymi praktykami rolniczymi.

Podsumowanie kroku 2. – ostateczna klasyfikacja zlewni cząstkowych. Po wykonaniu czynności określonych w punktach od 1 do 6, można dokonać ostatecznej klasyfikacji zlewni cząstkowych, w oparciu o zebrane informacje dotyczące potencjału ekologicznego cieku oraz ocenę przyrodniczą zlewni.

### **Krok 3 – Opracowanie rankingu najbardziej podatnych zlewni cząstkowych**

#### **Określenie przyszłej pokrywy nieprzepuszczalnej w zlewniach cząstkowych**

Aby przewidzieć przyszłą pokrywę nieprzepuszczalną, można zastosować prostą procedurę wykorzystującą ustaloną charakterystykę wykorzystania terenu i związanym z nią procentowym udziałem powierzchni nieprzepuszczalnej, zgodnie z planami realizacyjnymi. Zawierają one informacje o granicach działek działkach i o przeznaczeniu terenu, wynikającym z planów zagospodarowania terenu. Dla polskich warunków w oparciu o analizę miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, określono udział pokrywy nieprzepuszczalnej, dla różnych form użytkowania terenu w gminach położonych w zlewni Raby (tab. 4, MPZP oznacza Miejskowy Plan Zagospodarowania Terenu).

**Podsumowanie kroku 3. – identyfikacja najbardziej podatnych zlewni cząstkowych.** Po określeniu bieżącej i przyszłej klasyfikacji zlewni cząstkowych, można już ustalić zlewnie cząstkowe najbardziej podatne na zmiany w sposobie wykorzystania terenu. Wyniki tej klasyfikacji, prezentowane najczęściej są w formie graficznej. Poniżej przedstawiono procentowy udział powierzchni nieprzepuszczalnych dla zlewni cząstkowych dla zlewni cząstkowych położonych w gminie Kłaj. Kolorami oznaczono procentowy udział powierzchni nieprzepuszczalnej, który zgodnie z załączoną do rysunku legendą, wynosi od 0% do 30% i jest stopniowany stosownie do kategorii zagrożenia ekologicznego wód.

**Tabela 5.** Oszacowanie pokrywy nieprzepuszczalnej  
**Table 5.** Estimation of land cover value

Forma zagospodarowania terenu	Udział powierzchni uszczelnionej w [%]	Oznaczenie literowe, zgodne z MPZP
Tereny zabudowy zagrodowej	60%	MR, MRN
Tereny zabudowy jednorodzinnej	40%–70%	M, MN
Tereny mieszkaniowo-usługowe	50%–70%	MU
Tereny zabudowy lotniskowej	50%	ML
Tereny usług	50%–75%	U
Infrastruktura komunikacyjna drogi	95%	KD
Tereny przemysłowe	60%–75%	P
Tereny zieleni cmentarnej	60%	ZC
Tereny obsługi turystyki i narciarstwa	5%	US
Tereny infrastruktury technicznej	70%	IT
Tereny zielone – łąki, lasy, tereny rolne	0,5%	ZN, ZL, R
Tereny intensywnej produkcji rolnej	20%	RU, RPO

#### **Krok 4. Określenie działań zmierzających do poprawy zlewni cząstkowych**

##### **Ocena zdolność zlewni do odbudowy (restytucji)**

Ostatnim krokiem w analizie podatności zlewni jest uszeregowanie zlewni pod względem priorytetów odbudowy (restytucji). Pozycja zlewni cząstkowej w tym uszeregowaniu jest ustalana względem innych zlewni cząstkowych na obszarze części dorzecza.

W przypadku zlewni przedstawionych na powyższym rysunku kolejność klasyfikacji będzie następująca: zlewnia nr 1, 2, 4, 3 i 5.

**Podsumowanie kroku 4. – ranking zlewni cząstkowych pod względem wdrożenia planu.** Głównym wynikiem analizy podatności zlewni jest ustalenie rankingu zlewni cząstkowych pod względem konieczności szybkiego przygotowania planów i ich wdrożenia, w oparciu o identyfikację najbardziej podatnych (narażonych) zlewni cząstkowych opracowaną w oparciu o analizę planów miejscowych. Dla obszaru gminy Kłaj ocena opisowa wygląda następująco:

Podstawową przyczyną zmian w zagospodarowaniu zlewni (współczynnik uszczelnienia) jest przewidywana budowa autostrady przechodzącej przez teren gminy i określenie strategii rozwoju gminy w oparciu o możliwości, jakie ta inwestycja za sobą niesie. Dlatego też w planach przestrzennych zarezerwowano tereny pod przyszłą obsługę autostrady (zlewnia 1) oraz stworzono możliwości wykorzystania przestrzeni (tereny przemysłowe, tereny składowe), wynikające z obecności w sąsiedztwie dużej aglomeracji miejskiej (Kraków i ewentualnie Tarnów) w powiązaniu z możliwością szybkiego przemieszczania się na osi

wschód zachód (zlewnie 2 i 3). Działania w planowaniu w gospodarce wodnej mają zmierzać do realizacji celu, jakim jest dostarczenia wody dla realizacji postawionych w strategii rozwoju celów, oraz przeciwdziałanie zagrożeniom wynikającym z realizacji tych założeń.

Działania planistyczne, mające zmierzać do ograniczenia zagrożeń, dotyczą obowiązków gminy: zaopatrzenia w wodę, budowy kanalizacji sanitarnej i oczyszczalni ścieków, oraz przeciwdziałania sytuacjom ekstremalnym poprzez prawidłowe kształtowanie zabudowy dolin rzek i potoków oraz wyznaczenia obszarów pod małą retencję

Działania zmierzające do ograniczania zagrożeń związanych z budową autostrady drogą szybkiego ruchu sprowadzają się do przeciwdziałania zanieczyszczeniu wód opadowych odprowadzanych z pasa drogowego i obciążać będą głównie administratora autostrady.

Działania zmierzające do ograniczania zagrożeń związanych ze zwiększeniem obszarów przeznaczonych pod zabudowę dotyczą gminy poprzez: zapewnienie infrastruktury technicznej i określenie wymagań dotyczących zagospodarowania terenów usługowo-przemysłowych oraz stosowanych technologii inwestorów lokujących kapitał na terenie gminy.

Istnieje możliwość wykorzystania amerykańskiej metody oceny podatności zlewni na degradację ze względu na zmiany w użytkowaniu gruntów, zwanej *Land Cover Metod* lub *Imprevious Cover Metod*, do oceny zlewni cząstkowych określonego dorzecza, na bazie obecnego i planowanego zagospodarowania terenu zlewni.

Wstępna adaptacja tej metody do polskich warunków (w tym, z zastosowaniem jej między innymi w zlewni pilotowej Raby) dała podstawę do powiązania krajowego planowania przestrzennego z planowaniem wodno-gospodarczym, zgodnym z wymaganiami Ramowej Dyrektywy Wodnej, w skrócie RDW.

Proponowana metoda dostarcza jednolitego narzędzia do oceny zagrożeń wynikających z planowanego zagospodarowania i użytkowania terenu. Tym samym umożliwia ona wypełnienie zapisów Prawa Wodnego, zgodnie z którymi plany zagospodarowania przestrzennego powinny być uwzględniane przy określaniu przez dyrekcję regionalnych zarządów gospodarki wodnej warunków korzystania z wód regionu wodnego. Jednocześnie ułatwia ona przestrzeganie w planowaniu przestrzennym uwarunkowań wodnych, związanych z ochroną wód, ograniczeniem zagrożenia powodziowego i minimalizacji zmian morfologicznych koryt i dolin rzecznych.

Faktyczne powiązanie przyczyn ze skutkami umożliwi w sposób racjonalny uzasadnienie działań (małej retencji) w miejscach faktycznie występującego zagrożenia, oraz umożliwi wprowadzanie do planów zagospodarowania przestrzennego konkretnych zakazów, nakazów i działań powiązanych w sposób jednoznaczny z miejscem w przestrzeni. Dodatkowo analiza podatności zlewni umożliwia wskazanie miejsc (obszarów najbardziej zagrożonych) wraz z określeniem kolejności działań (rankingu działań).

*Wojciech Bartnik, Jacek Bonenberg, Jacek Florek*

---

## 2. ANALIZA DESZCZU EFEKTYWNEGO

Naturalna zlewnia charakteryzuje się w naszych szerokościach geograficznych intensywnym porostem roślinnym. Drzewa, krzewy i obszary łąkowe tworzą aktywną biologicznie warstwę czynną gleby posiadającą zdolność do zatrzymywania znacznej ilości wody. Powierzchnię leśną można z powodzeniem porównać do zajmującego ten sam obszar płytkiego zbiornika wodnego którego zdolność do zatrzymywania wody opadowej może wynosić od kilkunastu mm słupa wody wzwyż. Efektem opadu na teren niezagospodarowany jest więc zatrzymanie przez glebę i roślinność pewnej ilości wody i dopiero jej nadwyżka wywołać może spływ powierzchniowy koncentrujący się następnie w ciekach zlewni. Teren zamieszkały, zagospodarowany i w znacznej części pokryty materiałem nieprzepuszczalnym, jak dachy domów, asfaltowa nawierzchnia dróg, betonowe nawierzchnie parkingów, uszczelnione drogi ruchu pieszego stanowią w zlewni tą część powierzchni, której zdolność zatrzymywania wód opadowych jest znikomo mała. Opad na powierzchnię silnie zurbanizowaną zawsze prowadzi w bezpośredniej relacji do odpływu. Z praktycznego punktu widzenia opad można podzielić na część, która zostaje zatrzymana dzięki naturalnej zdolności do zatrzymywania wody przez zlewnię oraz na tą część, która prowadzi do bezpośredniego odpływu i nazywana jest deszczem efektywnym.

W typowych warunkach jakie występują w gminie Boguchwała należy się spodziewać, że zjawisko bezpośredniej relacji pomiędzy opadem a odpływem, a zależne od stopnia uszczelnienia podłoża, wystąpi w największym stopniu na tych wydzielonych powierzchniach które zostały w najsilniejszym stopniu przekształcone. Zagadnienie deszczu efektywnego rozpatrywane było w odniesieniu do sześciu wydzielonych zlewni potoków: dopływu Niechobrzki, Lubczy do Nosówki, Lubczy do Nosówki wraz z Nosówką, Mogielnickiego, Nosówki i Zimnej Wody.

Prezentowane zlewnie charakteryzują się znaczną odmiennością charakteru zagospodarowania, różną dynamiką rozwoju urbanistycznego wywołanymi przede wszystkim wysokościowym ukształtowaniem terenu jak również uwarunkowaniami historycznymi. Podczas gdy obszary takie jak dolna część potoków Mogielnickiego, oraz tereny u ujść Nosówki i Niechobrzki do Lubczy cha-

rakteryzują się znacznym stopniem zabudowy to pozostałe ciek jak górne części Niechobrzki a szczególnie Zimna Woda obszar zbiorczy mają pokryty głównie masywem leśnym.



**Rysunek 7.** Układ cieków obszaru badawczego  
**Figure 7.** Drainage system of the examined catchments

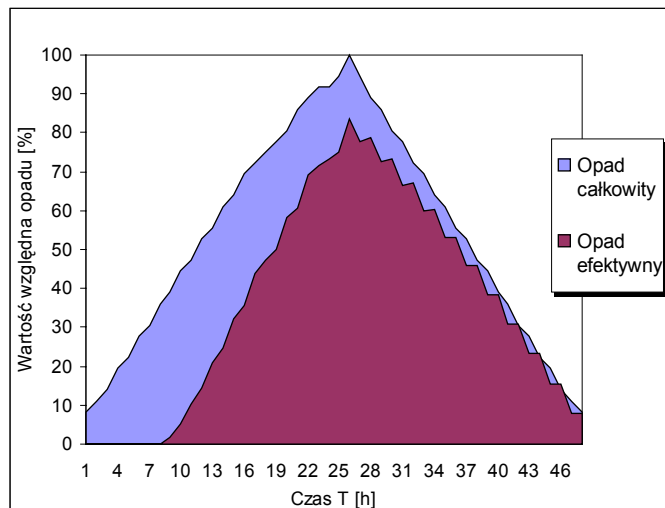
**Tabela 6.** Zestawienie powierzchni cząstkowych  
**Table 6.** Listing of subcatchments

Zlewnia potoku	Powierzchnia [km <sup>2</sup> ]
Nosówka	15,88
Lubcza	64,05
Zimna Woda	7,63
Niechobrzka	10,4
Mogielnica	9,43

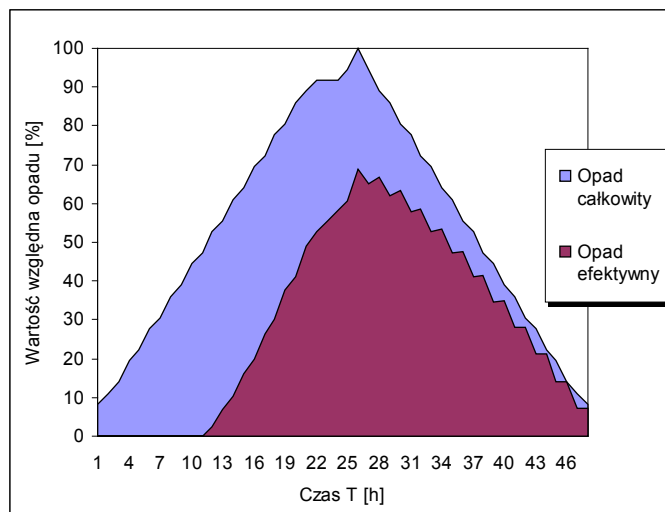
Przedstawione wykresy prezentują rozkłady opadu całkowitego i efektywnego w dwóch wariantach:

- obecna sytuacja,
- poprawy naturalnej retencyjności zlewni poprzez podniesienie lesistości.

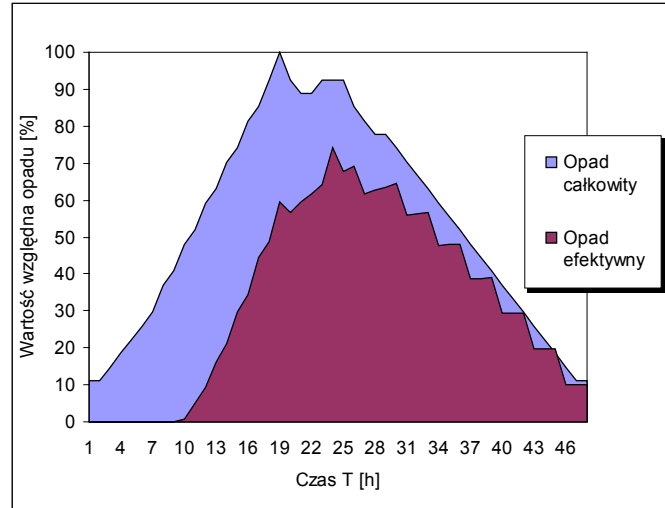




**Rysunek 8.** Przebieg symulacji opadu całkowitego i efektywnego w zlewni dopływu Niechobrzki w warunkach aktualnych  
**Figure 8.** Simulation of the total rainfall and effective rainfall in Niechobrzka basin – current conditions

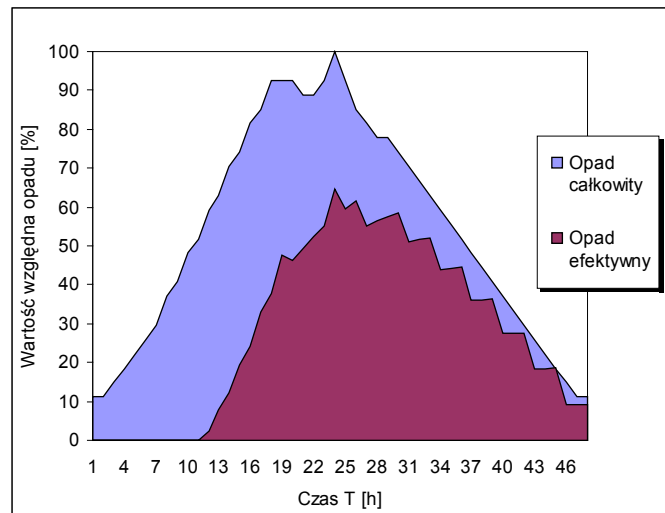


**Rysunek 9.** Przebieg symulacji opadu całkowitego i efektywnego w zlewni dopływu Niechobrzki po podniesieniu wskaźnika lesistości do 35%  
**Figure 9.** Simulation of the total rainfall and effective rainfall in Niechobrzka basin after the increase of forestation to 35%



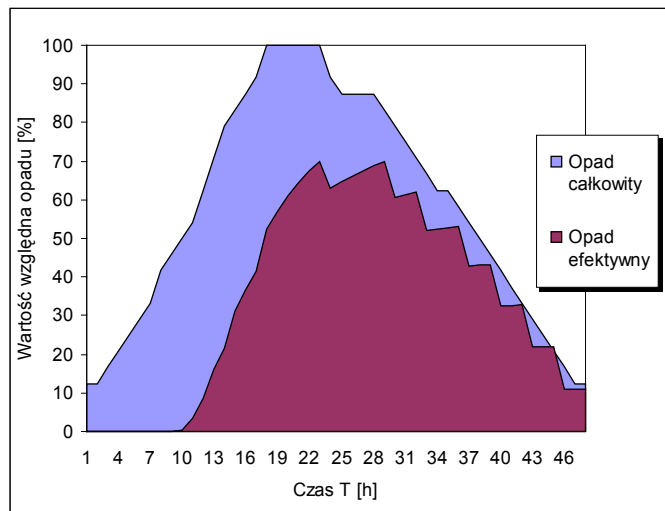
**Rysunek 10.** Przebieg symulacji opadu całkowitego i efektywnego w zlewni Lubczy do Nosówki w warunkach aktualnych

**Figure 10.** Simulation of the total rainfall and effective rainfall in Niechobrzka basin – current conditions



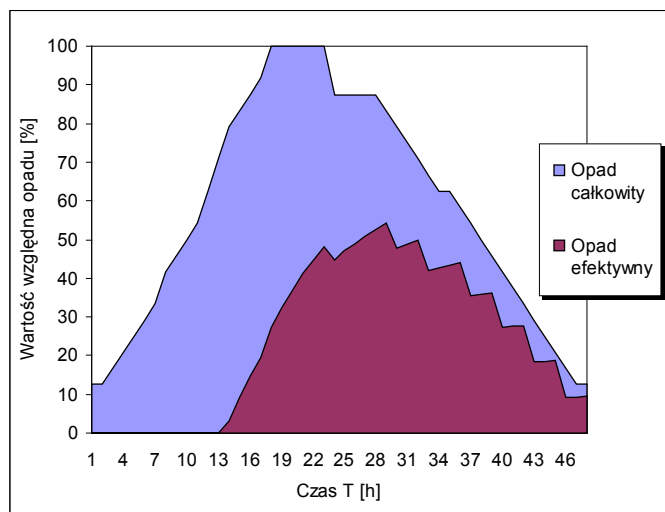
**Rysunek 11.** Przebieg symulacji opadu całkowitego i efektywnego w zlewni Lubczy do Nosówki po podniesieniu wskaźnika lesistości do 35%

**Figure 11.** Simulation of the total rainfall and effective rainfall in Lubczy basin after the increase of forestation to 35%



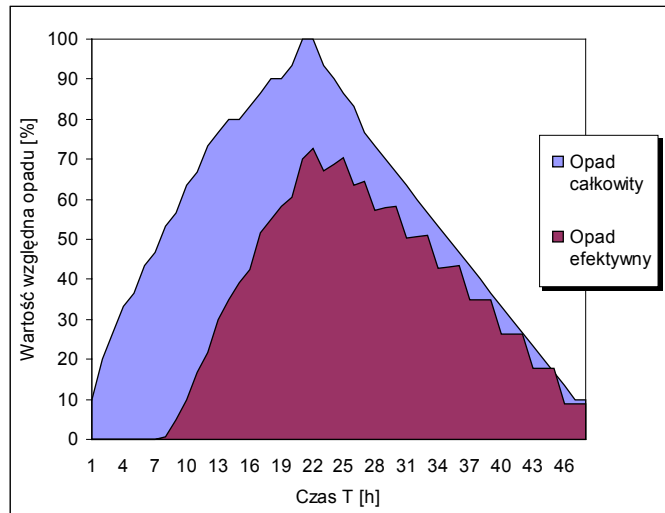
**Rysunek 12.** Przebieg symulacji opadu całkowitego i efektywnego w zlewni Lubczy do Nosówki z Nosówką w warunkach aktualnych

**Figure 12.** Simulation of the total rainfall and effective rainfall in Lubcza and Nasówka basins – current conditions

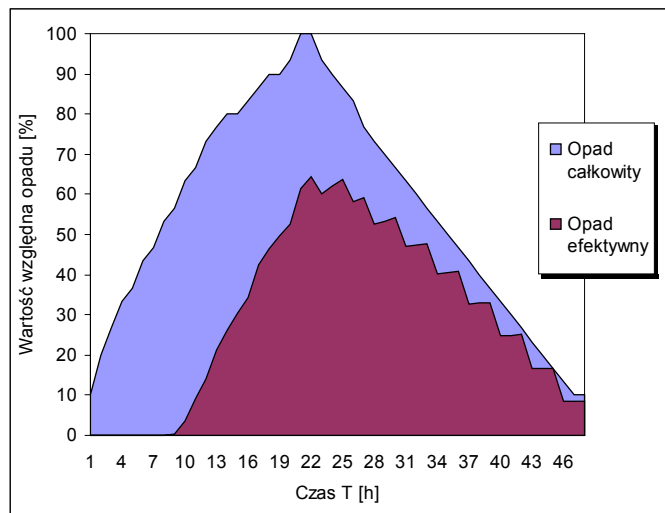


**Rysunek 13.** Przebieg symulacji opadu całkowitego i efektywnego w zlewni Lubczy do Nosówki z Nosówką po podniesieniu wskaźnika lesistości do 35%

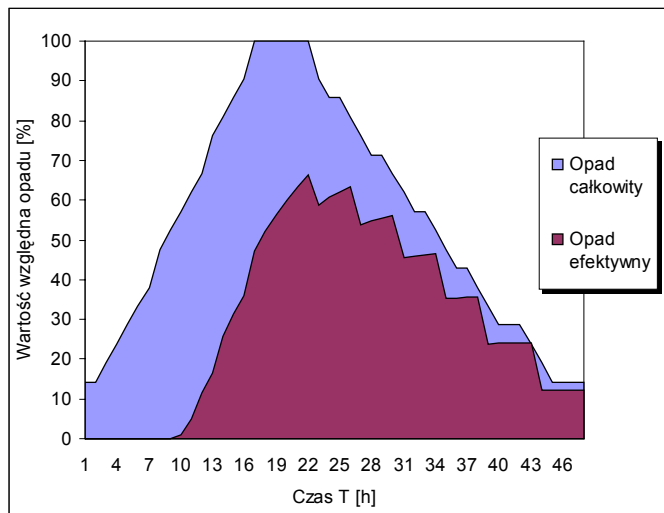
**Figure 13.** Simulation of the total rainfall and effective rainfall in Lubcza and Nasówka basins after the increase of forestation to 35%



**Rysunek 14.** Przebieg symulacji opadu całkowitego i efektywnego w zlewni potoku Mogielnickiego w warunkach aktualnych  
**Figure 14.** Simulation of the total rainfall and effective rainfall in Mogielnicki stream basin – current conditions

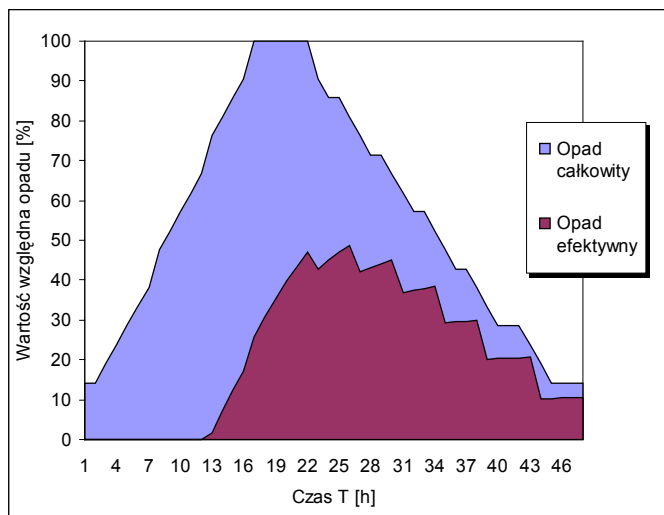


**Rysunek 15.** Przebieg symulacji opadu całkowitego i efektywnego w zlewni potoku Mogielnickiego po podniesieniu wskaźnika lesistości do 35%  
**Figure 15.** Simulation of the total rainfall and effective rainfall in Mogielnicki stream basin after the increase of forestation to 35%



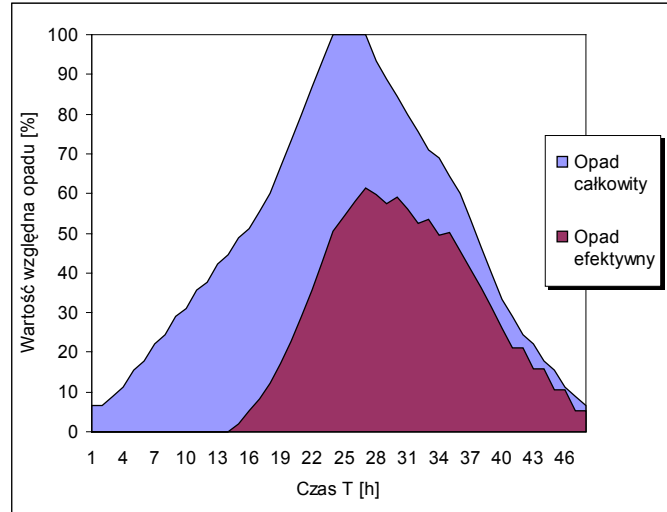
**Rysunek 16.** Przebieg symulacji opadu całkowitego i efektywnego w zlewni potoku Nosówka w warunkach aktualnych

**Figure 16.** Simulation of the total rainfall and effective rainfall in Nosówka stream basin – current conditions

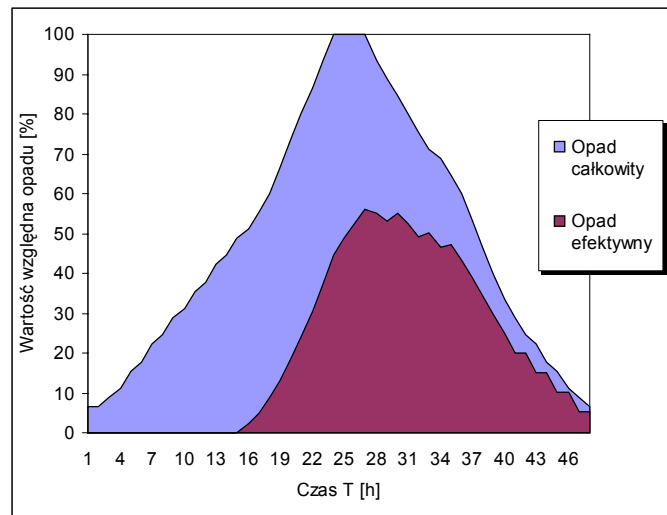


**Rysunek 17.** Przebieg symulacji opadu całkowitego i efektywnego w zlewni potoku Nosówka po podniesieniu wskaźnika lesistości do 35%

**Figure 17.** Simulation of the total rainfall and effective rainfall in Nosówka stream basin after the increase of forestation to 35%



**Rysunek 18.** Przebieg symulacji opadu całkowitego i efektywnego w zlewni potoku Zimna Woda w warunkach aktualnych  
**Figure 18.** . Simulation of the total rainfall and effective rainfall in Zimna Woda stream basin – current conditions



**Rysunek 19.** Przebieg symulacji opadu całkowitego i efektywnego w zlewni potoku Zimna Woda po podniesieniu wskaźnika lesistości o 10%  
**Figure 19.** Simulation of the total rainfall and effective rainfall in Zimna Woda stream basin after the increase of forestation to 35%

Jak prezentują przedstawione wykresy (rys. 8–17) cieki, których zlewnia w znacznej części pokryta jest lasem, odpowiedzą jedynie w ograniczony sposób na poprawę retencyjności poprzez zwiększenie wskaźnika lesistości (rys. 18 i 19), natomiast zlewnie już obecnie silnie zabudowane wykazują znacznie silniejszą reakcję na wszelkie rodzaje zabiegów prowadzących do poprawy retencji.

Z analizy zmian wywołanych w odpływie po zwiększeniu wskaźnika lesistości w odniesieniu do wydzielonych zlewni cząstkowych nie wynika jak silny, może być wpływ lokalnych warunków mikrozwlewni złożonej ze skupiska domostw, jednego większego zakładu przemysłowego lub silnie zabudowanej wsi. Może zdarzyć się taka sytuacja, w której przy ogólnie dobrych warunkach zlewni pojedyncze mikrozwlewnie będą ze względu na swój specyficzny charakter tworzyły warunki prowadzące do niekorzystnej, szybkiej relacji pomiędzy opadem a odpływem.

### **3. KONCEPCJA WZROSTU PROCENTOWEGO UDZIAŁU POWIERZCHNI LEŚNEJ W ZLEWNIACH CZĄSTKOWYCH**

Istniejąca sieć cieków naturalnych i rowów wraz z urządzeniami przepustowymi o niewystarczającej przepustowości tworzy, wraz utworzoną infrastrukturą gospodarczą terenu, warunki prowadzące do lokalnych zagrożeń podtopieniem wodami wezbraniowymi. Koncepcja podniesienia retencyjności obszaru może zostać zrealizowana, przy uwzględnieniu warunków panujących w gminie Boguchwała, przy udziale wzrostu powierzchni leśnej. W niniejszym rozdziale przedstawiono warunki przepływu w badanych mikrozwlewniach gminy przy istniejącym sposobie gospodarowania oraz z uwzględnieniem wzrostu powierzchni leśnej. Koncepcja zakłada podniesienie powierzchni leśnej do wartości 35% ogólnego udziału w mikrozwlewni. Dane Urzędu Statystycznego w Rzeszowie podają w roku 2006 w województwie Podkarpackim lesistość na poziomie 36,8%, gdzie powiat Rzeszowski mieści się w dolnym przedziale rozkładu z lesistością na poziomie powyżej 20%. Rocznik Głównego Urzędu Statystycznego podaje również dla poszczególnych czasookresów następujące wartości średniego opadu rocznego z wielolecia dla Rzeszowa: lata 1971–2000 opad 629 mm, lata 1991–2000 opad 666 mm, lata 2001–2005 opad 695 mm.

Określenie zależności opad-odpływ wymaga zastosowania założeń modelu geomorfologicznego, którego identyfikacja możliwa jest bez znajomości ciągów pomiarowych przepływów w przekrojach zamykających zlewnie (przepływy charakterystyczne cieków w Gminie były znane co umożliwiło ich wykorzystanie do wykalibrowania modelu). Model tego typu zakłada genezę spływu powierzchniowego w ciekach przy założeniu probabilistycznej teorii dobiegania kropli deszczu spadających na obszarze zbiorczym. Jego założenia wykazują, że szansa na przejście zlewni z jednego stanu do innego jest funkcją geomorfologii i geometrii zlewni, gdzie dominującą rolę odgrywają: wielkość opadu i czas jego trwania, rozmiar zlewni, rodzaj gospodarowania (którego efektem jest stopień uszczelnienia zlewni) oraz ogólne parametry hydrauliczne odbiornika, a wyniki pozwalają na określenie czasu pojawienia się wezbrania i maksymalnej wartości przepływu.

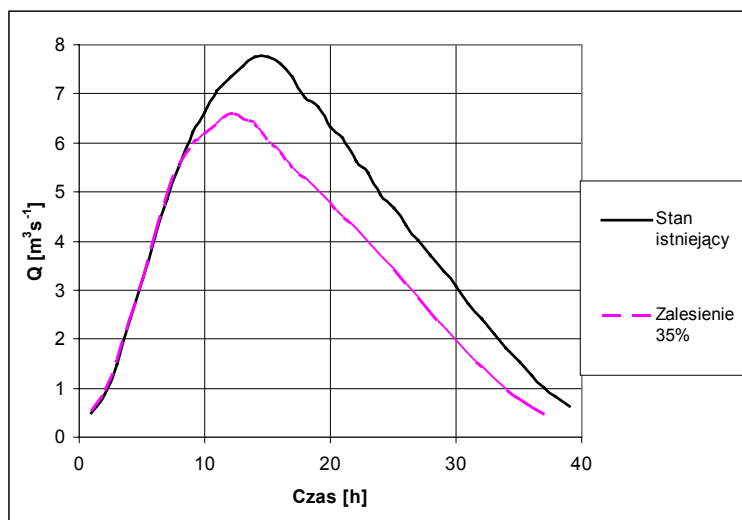


Obliczenia przeprowadzono dla następujących potoków: dopływu Niechobrcki, Lubczy do Nosówki, Lubczy do Nosówki i wraz z Nosówką, Mogielnickiego, Nosówki i Zimnej Wody.

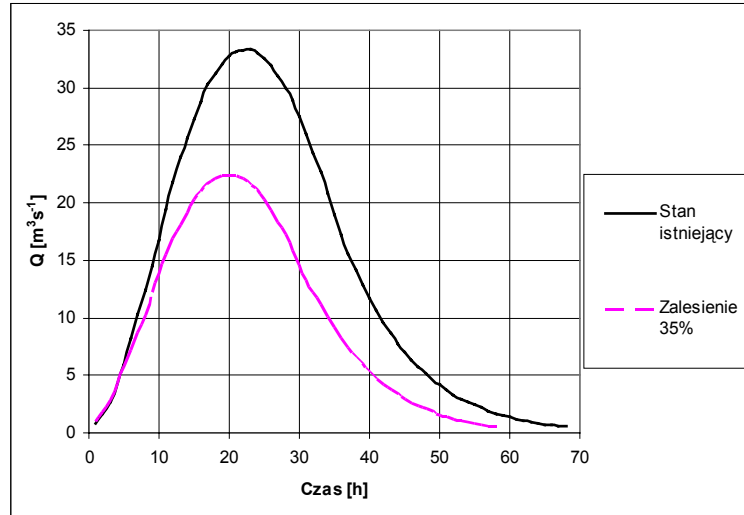
Obliczenia zakładają wprowadzenie zmian w gospodarowaniu, polegających na zwiększeniu całkowitej powierzchni leśnej do 35% kosztem użytków zielonych, a przypadku Zimnej Wody (gdzie powierzchnia leśna odpowiada bardziej zalesionym powiatom województwa niż całemu Rzeszowskiemu) przyjęto podniesienie powierzchni leśnej o 10% wartości początkowej. Założenia pozostają zgodne z ogólną polityką państwa, w której planach leży stały wzrost lesistości.

Wynik prezentują krzywe przejścia wezbrania w warunkach istniejących oraz z uwzględnieniem wzrostu powierzchni leśnej.

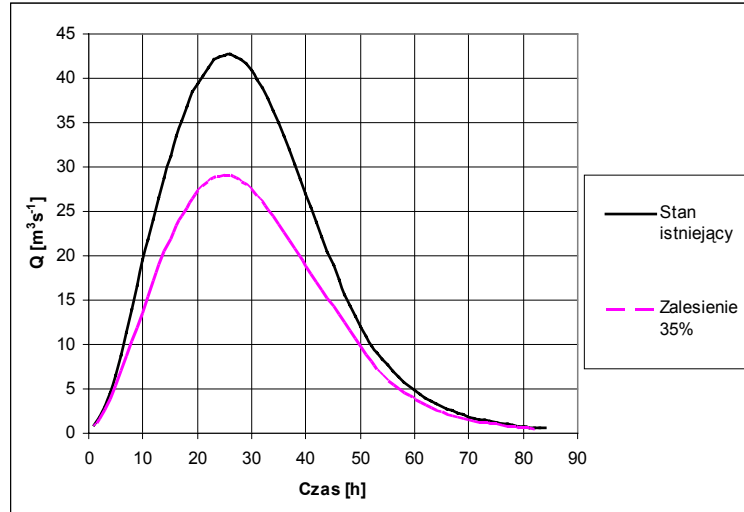
Wartości maksymalne przepływów oraz hydrografy potencjalnych wezbrań pozwalają na obliczenie objętości tej części przepływu, która przekracza odpływ ze zlewni zalesionej a w tej koncepcji kompensowanej zwiększoną zdolnością retencyjną powierzchni leśnych. Na rysunkach 20–25 przedstawiono hydrografy potencjalnych wezbrań w badanych ciekach, określone dla aktualnych warunków w przypadku powiększenia powierzchni leśnej do 35%.



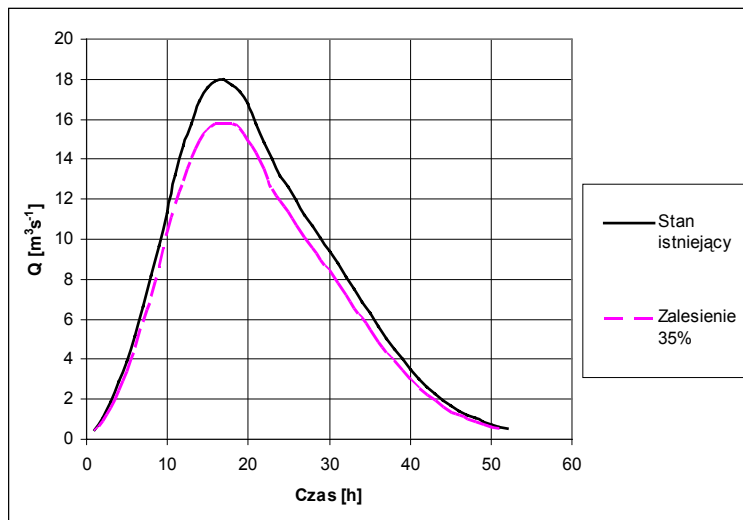
**Rysunek 20.** Hydrogram dla dopływu Niechobrcki: powierzchnia leśna stanowi ekwiwalent retencyjnej objętości 25 tys. m<sup>3</sup>  
**Figure 20.** Hydrograph for a tributary stream Niechobrcka: forested area is and equivalent of 25k m<sup>3</sup> water capacity



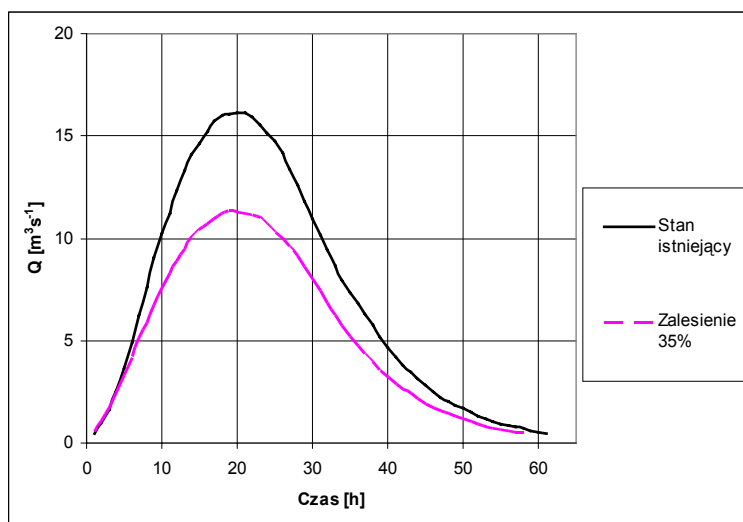
**Rysunek 21.** Hydrogram dla Lubczy do Nosówki:  
powierzchnia leśna stanowi ekwiwalent retencyjnej objętości 538 tys. m<sup>3</sup>  
**Figure 21.** Hydrograph for Lubczy to Nosówka:  
forested area is and equivalent of 538k m<sup>3</sup> water capacity



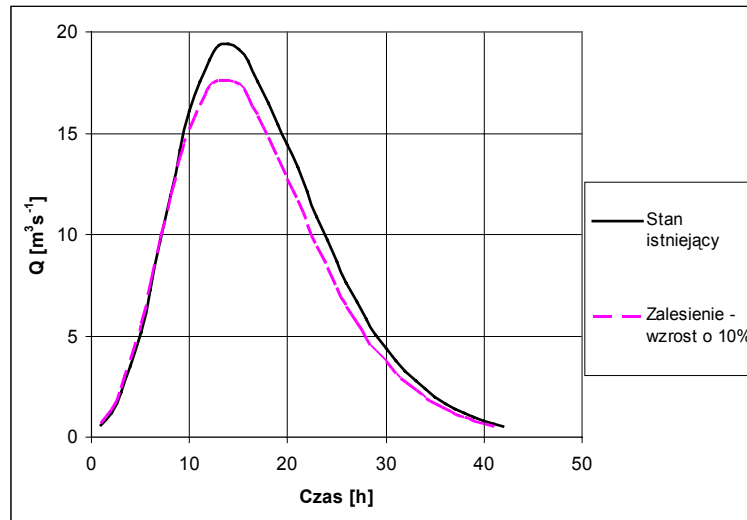
**Rysunek 22.** Hydrogram dla Lubczy do Nosówki wraz z Nosówką:  
powierzchnia leśna stanowi ekwiwalent retencyjnej objętości 790 tys. m<sup>3</sup>  
**Figure 22.** Hydrograph for Lubczy and Nosówka:  
forested area is and equivalent of 790k m<sup>3</sup> water capacity



**Rysunek 23.** Hydrogram dla potoku Mogielnickiego: powierzchnia leśna stanowi ekwiwalent retencyjnej objętości 43 tys.  $\text{m}^3$   
**Figure 23.** Hydrograph for Mogielnicki stream: forested area is and equivalent of 43k  $\text{m}^3$  water capacity



**Rysunek 24.** Hydrogram dla potoku Nosówka: powierzchnia leśna stanowi ekwiwalent retencyjnej objętości 212 tys.  $\text{m}^3$   
**Figure 24.** Hydrograph for Nosówka stream: forested area is and equivalent of 212k  $\text{m}^3$  water capacity



**Rysunek 25.** Hydrogram dla potoku Zimna Woda:  
powierzchnia leśna stanowi ekwiwalent retencyjnej objętości 25 tys. m<sup>3</sup>

**Figure 25.** Hydrograph for Zimna Woda stream:  
forested area is and equivalent of 25k m<sup>3</sup> water capacity

Jak widać z przedstawionych rysunków niedobory retencyjne w odniesieniu do zlewni całych potoków mogą być znaczne i zastąpienie ich budową zbiorników retencyjnych mogło by być kosztownym przedsięwzięciem, jednak w miarę jak zagłębiany się w warunki panujące na mniejszych zlewniach cząstkowych okazuje się, że niedobory retencyjne i pojemności zbiorników, jako opcjonalnego rozwiązania, stają się coraz mniejsze.

#### 4. NIEDOBORY RETENCYJNE JAKO EFEKT USZCZELNIENIA PODŁOŻA

Analiza powierzchni szczególnie silnie przekształconych na skutek zagospodarowania pozwoliła na wyodrębnienie w Gminie wybranych powierzchni cząstkowych o znacznym stopniu uszczelnienia podłoża. Rozwiązania koncepcyjne prowadzące do kompensacji niedoboru pojemności retencyjnej poprzez sztuczne zwiększenie tej zdolności mogą polegać na zastosowaniu:

- zbiorników retencyjnych wód opadowych na wydzielonych powierzchniach zlewni o wysokim stopniu urbanizacji przestrzeni,
- zbiorników przydomowych,
- rowów chłonnych z wykorzystaniem istniejącej infrastruktury odprowadzania wód powierzchniowych,
- powierzchni chłonnych w miejscach silnie przekształconych jako parkingi o powierzchni przepuszczalnej.

Ostateczne rozwiązanie leży w gestii Gminy, jednakże poniższe zestawienie prezentuje wartości niedoborów pojemności retencyjnych dla poszczególnych obszarów o szczególnie wysokim wskaźniku nieprzepuszczalności podłoża. Na rysunkach 26–33 przedstawiono przykłady określenia stopnia uszczelnienia powierzchni i brakującej pojemności retencyjnej.

##### **Boguchwała**

Miejscowość Boguchwała prezentuje zróżnicowane warunki pod względem stopnia zagospodarowania terenu a co za tym różne są również wartości uszczelnienia podłoża dla poszczególnych wydzielonych zlewni cząstkowych samej miejscowości. Najniższe wartości prezentują oczywiście peryferia jednak dokładniejsza obserwacja pozwoliła również zauważyć niepokojące zjawisko. W samym centrum zlewni znajdują się działki, które od kilku dziesięcioleci są praktycznie całkowicie zabudowane, tzn. w istniejącej strukturze zabudowań i sposobie wykorzystania terenu nie można się doszukać już niczego co wskazywało by na trwającą tendencję do dalszej zabudowy na takich powierzchniach. Pomimo tego określony tam wskaźnik uszczelnienia podłoża jest mniejszy od wartości istniejącej na obszarze stosunkowo młodych osiedli mieszkaniowych gdzie wciąż należy spodziewać się dalszego wzrostu powierzchni pokrytej.



**Rysunek 26.** Powierzchnie cząstkowe miejscowości Boguchwała  
**Figure 26.** Sub-watersheds in Boguchwała

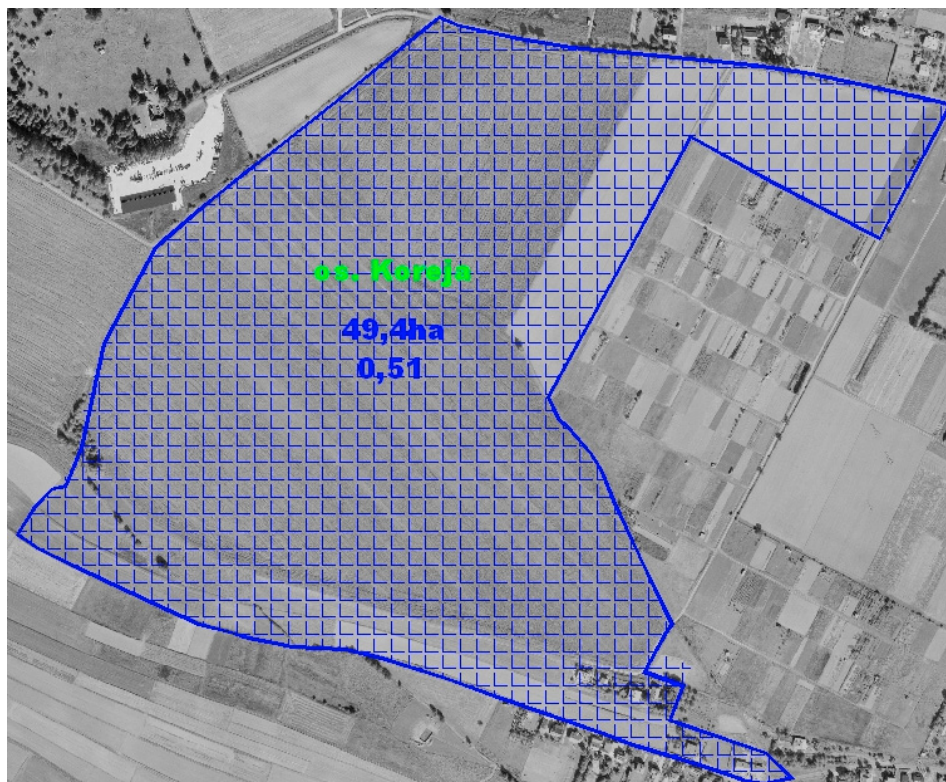
**Tabela 7.** Zestawienie powierzchni cząstkowych i ich stopnia uszczelnienia – Boguchwała  
**Table 7.** Listing of sub-watersheds and their LCF – Boguchwała

l.p.	Powierzchnia [ha]	Stopień uszczelnienia [-]
1	2,57	0,67
2	5,8	0,32
3	2,54	0,45
4	3,3	0,24
5	5,51	0,34
6	50,1	0,2
7	7,2	0,27
8	8,27	0,335
9	9,11	0,28
10	28,25	0,75

Całkowita powierzchnia 122,65 ha, średni wskaźnik uszczelnienia 0,37.  
 Potrzebna pojemność retencyjna 4966 m<sup>3</sup>.

## Boguchwała – Osiedle Koreja

Na podstawie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego. Analiza planowanego dopiero osiedla Koreja wskazuje, że inwestorzy pragnąc wykorzystać, w maksymalnym stopniu, pozyskany teren przewidują takie jego wykorzystanie, którego efektem będą rekordowe wartości uszczelnienia podłoża.



**Rysunek 27.** Powierzchnie cząstkowe miejscowości Boguchwała – osiedle Koreja  
**Figure 27.** Sub-watersheds in Boguchwała – Koreja estate

Całkowita powierzchnia 49,4 ha, średni wskaźnik uszczelnienia 0,51.  
Potrzebna pojemność retencyjna 98 m<sup>3</sup>.

## Niechobrz

Powierzchnie cząstkowe.

Na obszarach pozamiejskich gdzie dominuje zabudowa wolnostojąca pokrycie powierzchni jest znacznie mniejsze a lokalna sytuacja zależy w dużym stopniu od układu własnościowego poszczególnych działek. W miejscowości Niechobrz można zauważyć pewien wyraźnie zarysowany zasięg intensywnej zabudowy, a teren wewnątrz tej granicy stopniowo zyskuje na zagęszczeniu zabudową.



**Rysunek 28.** Powierzchnie cząstkowe miejscowości Niechobrz  
**Figure 28.** Sub-watersheds in Niechobrz



**Tabela 8.** Zestawienie powierzchni cząstkowych i ich stopnia uszczelnienia – Niechobrz  
**Table 8.** Listing of sub-watersheds and their LCF – Niechobrz

lp.	Powierzchnia [ha]	Stopień uszczelnienia [-]
1	8	0,24
2	6,77	0,24
3	38,9	0,137
4	5,4	0,1370,24
5	6,76	0,24

Całkowita powierzchnia 65,7 ha, średni wskaźnik uszczelnienia 0,18.  
Potrzebna pojemność retencyjna 174 m<sup>3</sup>.

### Wola Zgłobieńska

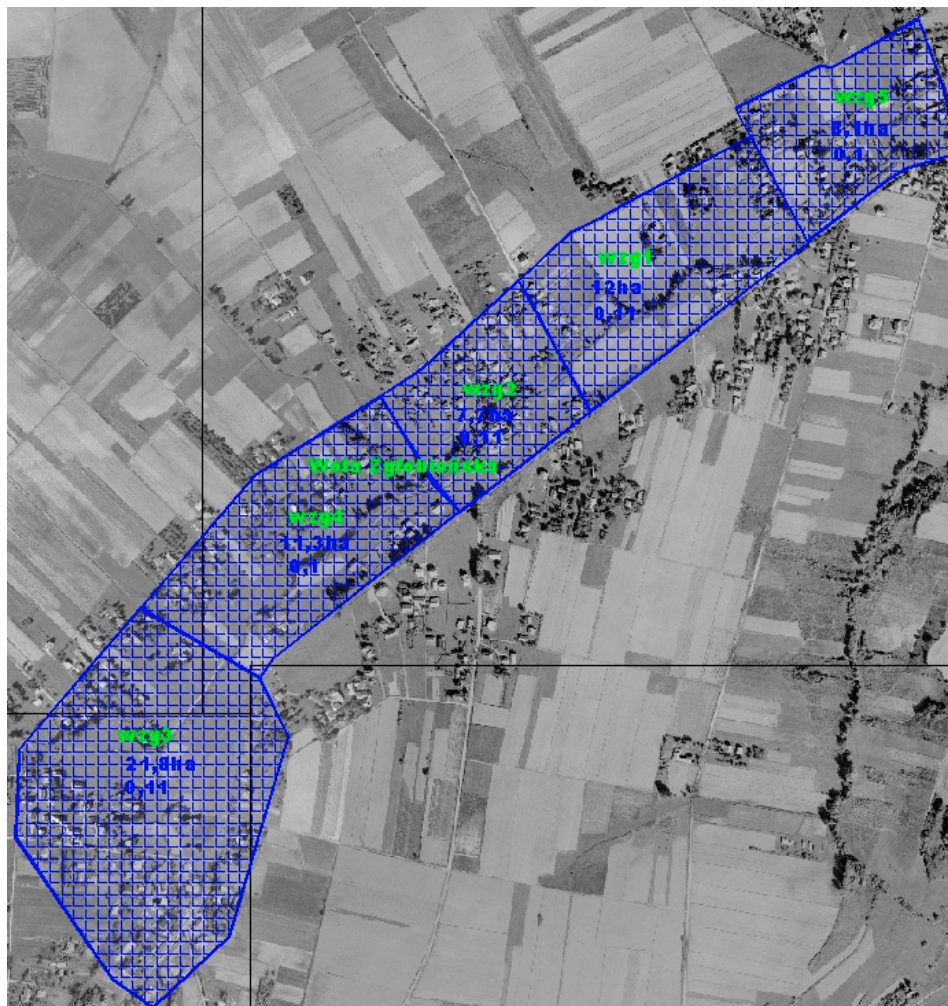
Powierzchnie cząstkowe.

W miejscowości Wola Zgłobieńska zabudowa jest rozrzucona, również tutaj można określić jej zasięg wynoszący od 50 do ok. 150 m od koryta cieku. Rozrzucone skupiska domów, zabudowań, placów i powierzchni utwardzonych dróg dojazdowych stopniowo wypełniają jeszcze w niewielkim zakresie pokrytą powierzchnię terenu.

**Tabela 9.** Zestawienie powierzchni cząstkowych i ich stopnia uszczelnienia – Wola Zgłobieńska  
**Table 9.** Listing of sub-watersheds and their LCF – Wola Zgłobieńska

lp.	Powierzchnia [ha]	Stopień uszczelnienia [-]
1	7,69	0,11
2	21,8	0,11
3	12,9	0,1
4	8,1	0,1

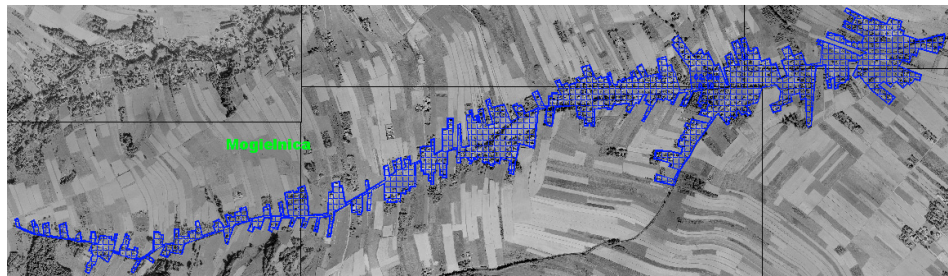
Całkowita powierzchnia 50,5 ha, średni wskaźnik uszczelnienia 0,105.  
Potrzebna pojemność retencyjna 29 m<sup>3</sup>.



**Rysunek 29.** Powierzchnie cząstkowe miejscowości Wola Zgłobińska  
**Figure 29.** Sub-watersheds in Wola Zgłobińska

### Mogielnica

Rejon Mogielnicy charakteryzuje niskim stopniem zabudowania terenu, który skoncentrowany jest w bezpośredniej bliskości drogi głównej oraz ciek. W odróżnieniu od miejscowości gdzie można mówić już o zabudowie powierzchniowej tutaj występują jedynie pojedyncze, lokalne skupiska zabudowań.



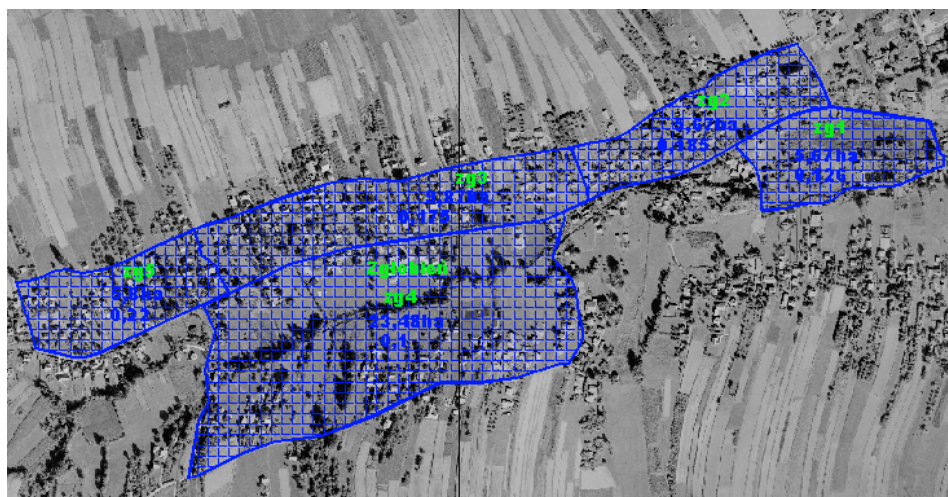
**Rysunek 30.** Powierzchnie cząstkowe miejscowości Mogielnica  
**Figure 30.** Sub-watersheds in Mogielnica

Całkowita powierzchnia 62,6 ha, średni wskaźnik uszczelnienia 0,16.  
Potrzebna pojemność retencyjna 151 m<sup>3</sup>.

### Zgłobień

Powierzchnie cząstkowe.

Miejscowość Zgłobień wyróżnia się płaskim terenem zalewowym gdzie znaleźć można pojedyncze skupiska zabudowań oraz stosunkowo gęstą zabudową terenu położonego poza zasięgiem najczęściej pojawiających się sezonowych wezbrań. Największe lokalne wskaźniki uszczelnienia podłoża wywołane są pokryciem powierzchni placami i siecią dróg.



**Rysunek 31.** Powierzchnie cząstkowe miejscowości Zgłobień  
**Figure 31.** Sub-watersheds in Zgłobień

**Tabela 10.** Zestawienie powierzchni cząstkowych i ich stopnia uszczelnienia – Zgłobień  
**Table 10.** Listing of sub-watersheds and their LCF – Zgłobień

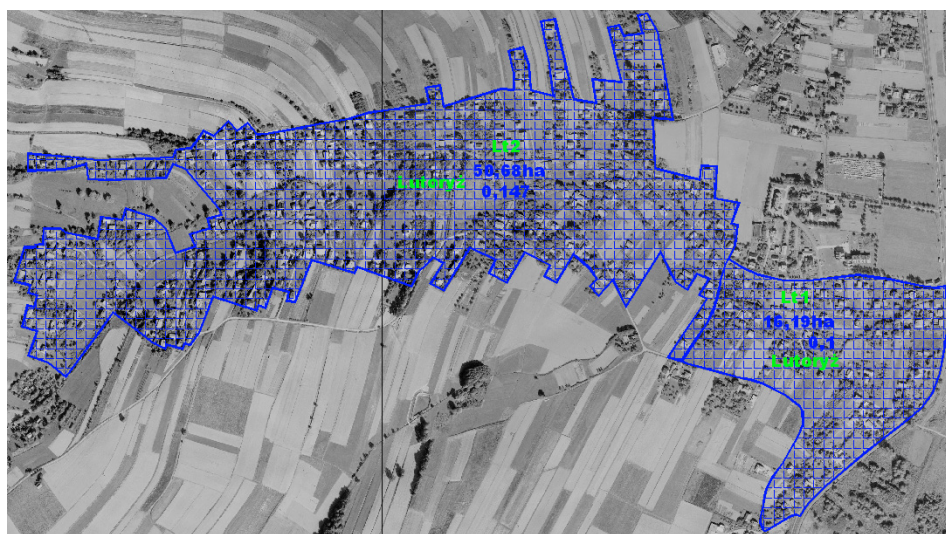
lp.	Powierzchnia [ha]	Stopień uszczelnienia [-]
1	5,67	0,126
2	6,33	0,185
3	9,87	0,175
4	23,48	0,1
5	5,8	0,22

Całkowita powierzchnia 51,15 ha średni wskaźnik uszczelnienia 0,145.  
 Potrzebna pojemność retencyjna 35 m<sup>3</sup>.

### Lutoryż

Powierzchnie cząstkowe.

Ze względu na układ terenu w miejscowości Lutoryż zabudowa obejmuje skoncentrowany obszar, który nie został jeszcze w znacznym stopniu zabudowany, dalsza rozbudowa będzie najprawdopodobniej prowadziła do dalszego zwiększenia wskaźnika pokrycia w centralnej części miejscowości.



**Rysunek 32.** Powierzchnie cząstkowe miejscowości Lutoryż  
**Figure 32.** Sub-watersheds in Lutoryż

**Tabela 11.** Zestawienie powierzchni cząstkowych i ich stopnia uszczelnienia – Lutoryż  
**Table 11.** Listing of sub-watersheds and their LCF – Lutoryż

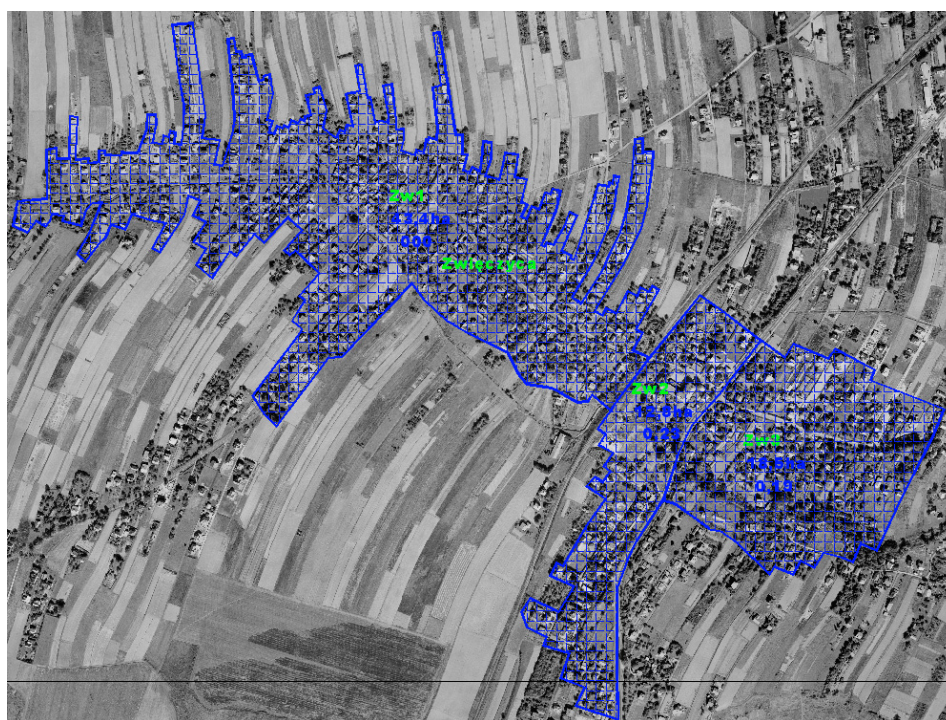
l.p.	Powierzchnia [ha]	Stopień uszczelnienia [-]
1	16,27	0,104
2	50,68	0,147

Całkowita powierzchnia 66,95 ha, średni wskaźnik uszczelnienia 0,137.  
Potrzebna pojemność retencyjna 195 m<sup>3</sup>.

### Zwiężczyca

Powierzchnie cząstkowe.

Miejscowość Zwiężczyca charakteryzuje się gęstą zabudową powierzchniową. W centrum miejscowości zaobserwować można tereny gdzie nie ma już miejsca pod dalsze budynki, stąd prawdopodobnie układ pól determinuje kierunki najszybszego rozwoju obszaru zabudowanego.



**Rysunek 33.** Powierzchnie cząstkowe miejscowości Zwiężczyca  
**Figure 33.** Sub-watersheds in Zwiężczyca

**Tabela 12.** Zestawienie powierzchni cząstkowych i ich stopnia uszczelnienia – Zwiężczyca  
**Table 12.** Listing of sub-watersheds and their LCF - Zwiężczyca

lp.	Powierzchnia [ha]	Stopień uszczelnienia [-]
1	43,4	0,25
2	12,8	0,23
3	18,5	0,19

Całkowita powierzchnia 74,7 ha, średni wskaźnik uszczelnienia 0,23  
Potrzebna pojemność retencyjna 748 m<sup>3</sup>.

## **5. WPŁYW ZMIANY STOPNIA USZCZELNIENIA POWIERZCHNI ZLEWNI NA WARUNKI RUCHU RUMOWISKA WLECZONEGO W RZEKACH I POTOKACH GÓRSKICH**

Rzeki i potoki górskie są dynamicznymi i zróżnicowanymi ekosystemami, a w ostatnich latach ich wykorzystanie miało charakter jedynie gospodarczy. Spowodowało to w głównej mierze degradację równowagi ekologicznej oraz wymuszony przebieg procesów morfologicznych. Odizolowanie rzeki od reszty doliny w wyniku regulacji w sposób znaczący zmniejszyło retencję dolinową. Jak się ostatnio ocenia, negatywny wpływ działalności człowieka spowodował, że większość dużych rzek w Europie została uregulowana. Rozpowszechniona budowa zbiorników retencyjnych, regulacja rzek, obwałowania nie zapewniły pełnej ochrony przed powodzią, a niekontrolowana i nadmiernie chaotyczna urbanizacja terenów zalewowych rzek i potoków górskich spowodowała, że każde wezbranie w cieku obecnie jest klasyfikowane jako powódź.

Od roku 1989 można zauważyć pojawienie się impulsu erozji wglębnej w wyniku zmian użytkowania terenów rolniczych. Współczesne pogłębianie, mniej intensywne w obrębie gór, a bardziej na ich przedpolu jest postępującą falą regresyjnego odmładzania koryt, w wyniku czego następuje:

- zmiana kształtu koryt na węższe i głębsze,
- pogorszenie funkcjonowania równin zalewowych,
- zmiana koryt aluwialnych na skalne.

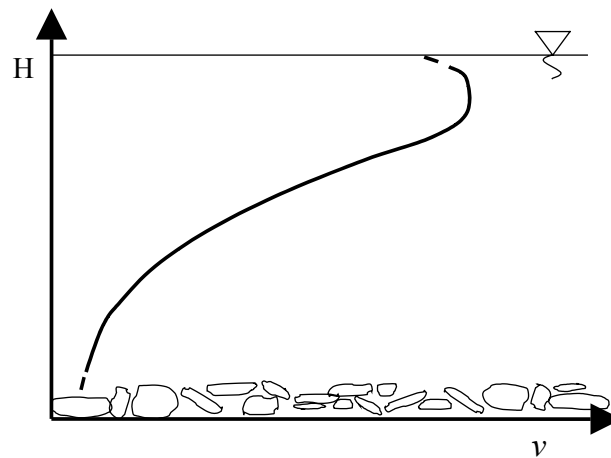
Wpływ działalności człowieka w zlewni cieków taka jak wylesienie dorzecza, zagospodarowanie dolin, spowodowały z jednej strony degradację równowagi ekologicznej, a z drugiej nastąpiła intensyfikacja procesów morfologicznych w korycie cieków. Degradacja zasobów wodnych jest więc procesem, który ma swoje uwarunkowania historyczne, spowodowane rozwojem osadnictwa w dolinach rzecznych, które wymusiły transformacje geomorfologiczne w korytach rzek i potoków

Niestety skutki regulacji są często negatywne, powodując np. obniżenie dna cieków nawet o kilka metrów w ciągu kilkudziesięciu lat. Jako przyczyny obniżania się poziomu dna cieków wymienia się przeciwerozrywną zabudowę brzegów koryt i wytyczanie tras regulacyjnych rzek tak, aby uniemożliwić podcinanie zboczy dolin, stożków napływowych dopływów i progów wyższych

teras, wznoszenie zapór przeciwrumowiskowych na potokach górskich, obudowę brzegów, a niekiedy całych koryt za pomocą żłobów kamiennych lub betonowych oraz przegradzanie rzek głębokimi zbiornikami zaporowymi przechwytyjącymi całość rumowiska dennego dostarczanego z ich wyższych odcinków.

Aktualnie ocena i klasyfikacja rzek w Polsce nie uwzględnia elementu oceny zrównoważonego stanu środowiska cieków poprzez ocenę równowagi hydrodynamicznej zalecanej w Ramowej Dyrektywie Wodnej (RDW). Z dotychczasowej oceny i waloryzacji morfologicznej rzek wynika, że coraz bardziej widoczna staje się potrzeba ilościowego określenia wpływu parametrów przepływu na stan elementów biotycznych. Zagadnienie to jest ważne zarówno z punktu widzenia pośredniej oceny aktualnego stanu ekologicznego cieków, jak i przewidywania wpływu na ten stan ewentualnych przyszłych działań. Takim przykładem cząstkowego rozwiązania może być metoda określająca stan zrównoważony cieków na podstawie równowagi hydrodynamicznej.

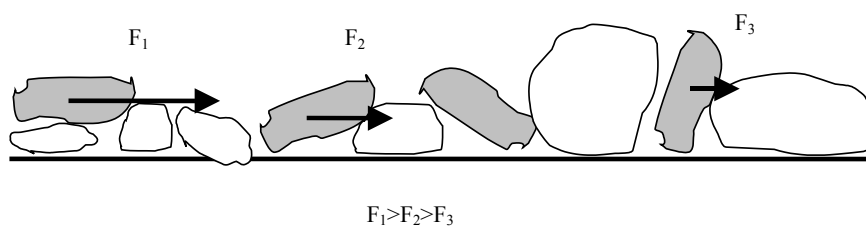
Rumowisko wleczone występujące w rzekach i potokach górskich charakteryzuje się znaczną niejednorodnością uziarnienia oraz asymetrią kształtu ziaren. Transport tych ziaren odbywa się przy dominującym wpływie sił ciężkości. Tylko duże prędkości strumienia rzecznoego mogą spowodować ruch cząstek w warstwie przydennej cieków.



**Rysunek 34.** Rozkład prędkości w pionie hydrometrycznym gdy dno pokryte jest rumowiskiem o znacznej średnicy  
**Figure 34.** Velocity distribution in hydrometric profile - river bed covered with high grain size

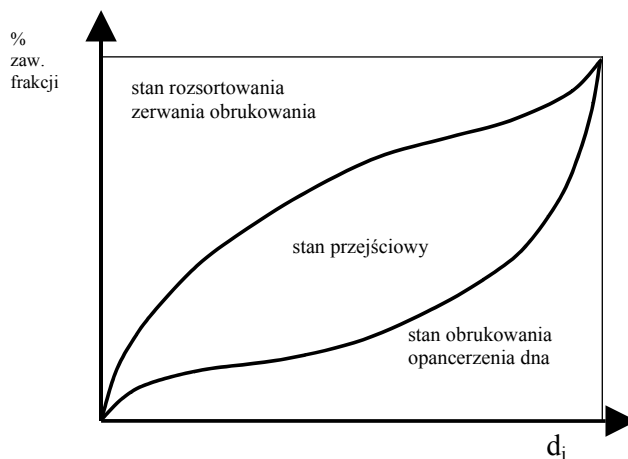


Utrzymanie rumowiska wleczonego w zawieszeniu nie jest możliwe w zakresie prędkości występujących w rzekach. Dominuje więc ruch potoczysty, posuwisty lub saltacyjny ziaren, przy czym okres spoczynku trwa z reguły znacznie dłużej niż okres ruchu. Transport rumowiska obserwuje się podczas powodzi (wezbrania), przy czym najpierw wymywane są drobne, a potem coraz większe ziarna.



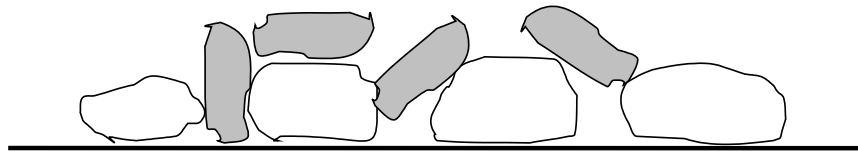
**Rysunek 35.** Wpływ rozmiaru ziarna na jego ekspozycję na dnie i oddziałujące siły  
**Figure 35.** Influence of the grain size on its exposition on bed and the acting forces

Tworzące się wskutek tego obrukowanie dna powoduje zwiększenie odporności dna na działanie strumienia i opóźnienie masowego transportu rumowiska. Natomiast po zerwaniu obrukowania wprowadzona zostaje w ruch warstwa denna o znacznej miąższości.



**Rysunek 36.** Krzywa uziarnienia jako forma graficznej prezentacji stanu obrukowania dna  
**Figure 36.** Grain-size distribution curve - graphic presentation of armoured layer

Kształt rumowiska gruboziarnistego dennego w rzekach i potokach górskich jest silnie asymetryczny, przy czym dominują ziarna o kształcie płaskim (dachówkowatym, elipsoidalnym). Takie cząstki rumowiska nie układają się wyłącznie poziomo na dnie cieków, lecz często ustawiają się pod kątem do poziomu dna i wyraźnie wystają.



**Rysunek 37.** Ekspozycja ziarna na dnie decyduje o rzeczywistych siłach na nie oddziałujących

**Figure 37.** The exposition determines real forces acting on the grain in the riverbed

Jego ułożenie powoduje obniżenie wartości granicznych bezwymiarowych naprężeń ścinających ( $f$ ). Wartości bezwymiarowych naprężeń ścinających dla cząstek asymetrycznych w ciekach górskich są wyraźnie niższe od klasycznych już wartości podanych przez Shieldsa, które zostały określone dla rumowiska o uziarnieniu jednorodnym i kształcie kulistym.

Wyznaczenie parametrów równowagi hydrodynamicznej koryta, przy której w przekroju cieków nie mamy do czynienia ani z akumulacją, ani z erozją materiału dennego, stanowi ważny problem przy rozwiązywaniu zagadnień związanych z oddziaływaniem strumienia na dno.

W chwili obecnej ocena klasyfikacja rzek w Polsce nie uwzględnia elementu oceny zrównoważonego stanu środowiska cieków poprzez ocenę równowagi hydrodynamicznej zalecanej w RDW. Z dotychczasowej oceny i waloryzacji morfologicznej rzek wynika, że coraz bardziej widoczna staje się potrzeba ilościowego określenia wpływu parametrów przepływu na stan elementów biotycznych. Zagadnienie to jest ważne zarówno z punktu widzenia pośredniej oceny aktualnego stanu ekologicznego cieków, jak i przewidywania wpływu na ten stan ewentualnych przyszłych działań. Takim przykładem cząstkowego rozwiązania może być metoda określająca stan zrównoważony cieków na podstawie równowagi hydrodynamicznej.

Założeniem określenia **zrównoważonego stanu środowiska cieków jest warunek, że** jest to stan równowagi dynamicznej w sensie geomorfologicznym a jednocześnie „stan ekologiczny” na poziomie pożądanym, oznacza to, że należy;

– pozostawić ciek w stanie dynamicznej równowagi, w której odprowadza on w dół swego biegu taką samą ilość rumowiska, jaka jest dostarczana do danego przekroju doliny, zaś dno cieków w dłuższym okresie utrzymuje się na jednokowej wysokości,

– zapewnić równowagę pomiędzy funkcją odprowadzania wód wezbraniowych w dół biegu cieku oraz funkcją ich retencjonowania w obszarach zalewowych, jak również status ekologiczny cieku i jego korytarza na co najmniej dobrym poziomie.

Parametryzacja zjawiska tworzącego warunki równowagi, będzie warunkiem rozwiązania tego zagadnienia. Ponieważ rumowisko wleczone występujące w rzekach i potokach górskich charakteryzuje się znaczną niejednorodnością uziarnienia oraz asymetrią kształtu ziaren, tylko duże prędkości strumienia rzecznoego mogą spowodować ruch cząstek w warstwie przydennej cieku. Przebieg zmian morfodynamicznych wymaga określenia oporów przepływu, wartości parametrów granicznych dla warunków początku ruchu rumowiska, charakterystyki pokrywy dna szorstkiego, ocena wylwu kształtu ziarna i charakteru zjawisk związanych z przejściem wód wezbraniowych. Jednoczesna analiza wymienionych parametrów wymaga ich zbiorczego ujęcia i przedstawienia na zasadach porównawczych tak, by móc wykazać wpływ poszczególnych czynników dla określenia warunków koryt stabilnych. Przedstawiona w niniejszym opracowaniu propozycja oceny równowagi hydrodynamicznej na podstawie określenia hydraulicznych parametrów przepływu wody i ruchu materiału dennego wychodzi naprzeciw założeniom RDW. Ocena parametryczna pozwala na scharakteryzowanie odcinków potoków i rzek górskich z przewagą transportu rumowiska, odcinków w równowadze pomiędzy dostawą a odprowadzeniem i wreszcie o przewadze akumulacji.

**Tabela 13.** Ocena hydrodynamiczna rzek górskich i potoków  
**Table 13.** Hydrodynamic estimation of mountain rivers and streams

Współczynnik klinowania się ziaren	Uzależnienie położenia granicy pomiędzy ruchem a spoczynkiem ziarna w materiale różnoziarnistym od efektu klinowania się ziaren	
Początek ruchu rumowiska dennego	Określenie granicy pomiędzy ruchem a spoczynkiem dla drobnych i grubych frakcji na podstawie znajomości naprężeń bezwymiarowych	
Kształt ziaren	Uzależnienie naprężeń bezwymiarowych od współczynnika kształtu ziaren	
Transport rumowiska	Określenie transportu całkowitego rumowiska wleczonego, jako sumy transportów cząstkowych frakcji przy zmiennych naprężeniach granicznych, w funkcji odchylenia standardowego krzywej przesiewu	
Prognoza procesów obrukowania	Określenie prawdopodobieństwa nieruszenia się ziaren w zależności od nadwyżki siły wleczenia jako funkcji stosunku naprężeń granicznych do naprężeń normalnych	
Naprężenia graniczne	Określenie spadku granicznego	Określenie napelnienia granicznego
Analiza równowagi hydrodynamicznej	Ustalenie przepływu zrywającego obrukowanie większy od przepływu miarodajnego: stan stabilizacji	Ustalenie przepływu zrywającego obrukowanie mniejszy od przepływu miarodajnego: erozja wgłębna

### Metodyka obliczeń

Projektowanie parametrów przekroju poprzecznego można określić wg następujących kryteriów oceny stabilności:

- dopuszczalnych prędkości przepływu,
- dopuszczalnych sił unoszenia.

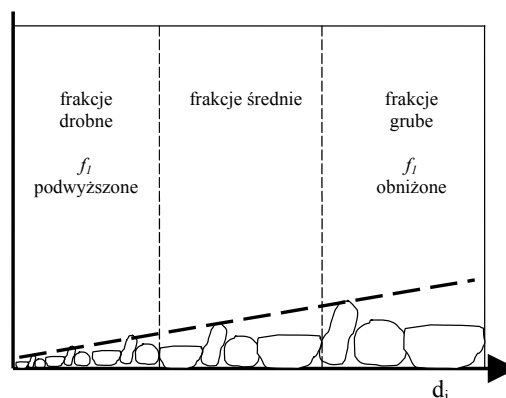
#### Wybrane wzory dla określenia intensywności transportu rumowiska.

Istnieje szereg wzorów, które umożliwiają przybliżoną ocenę ilościową transportu cząstek stałych jednak każdy wzór ze względu na zróżnicowane warunki transportu rumowiska ma charakter regionalny. Znaczne zwiększenie dokładności oceny ilościowej transportu rumowiska uzyskano po wprowadzeniu metod opartych o pomiar radioizotopowy dla rzek i potoków karpackich. Regionalizacja może być w pewien sposób eliminowana przez dobór odpowiedniego typu równania. Możemy wyróżnić cztery typy wzorów;

- typ I: naprężenie styczne oddziałujące na dno koryta,
- typ II: natężenie przepływu strumienia i spadek zwierciadła wody,
- typ III: fluktuację przepływu i probabilistyczny charakter transportu ziarna,
- typ IV: prędkość przepływu strumienia.

**Wzór Meyera-Petera i Müllera.** Badania radioizotopowe wykazały, że intensywność transportu powinna być obliczana jako suma intensywności transportu poszczególnych frakcji rumowiska dennego wynikiem tych badań było wprowadzenie modyfikacji równania Meyera-Petera i Müllera [1948] zwaną dalej MPM. Modyfikacja [Bartnik 1992; Gładki i in. 1981] dała dużą zgodność obliczeń masy transportowanego rumowiska z pomiarem [Michalik 1990].

Wspomniana modyfikacja polega na zastąpieniu parametru Shieldsa  $f = 0,047$  przez parametr  $f_i$  dla średnicy frakcji  $d_i$ , który może być obliczony.



**Rysunek 38.** Podział rumowiska na grupy frakcji drobnych i grubych z uwzględnieniem zmian w bezwymiarowych naprężeniach granicznych

**Figure 38.** The bed material divisions: small, middle and large grain sizes  
– with consideration of dimensionless critical shear stresses

Kolejnym etapem modyfikacyjnym było wprowadzenie zmiennych naprężeń granicznych wg Wanga w funkcji odchylenia standardowego krzywej przesiewu. Modyfikacja ta została również przeprowadzona w oparciu o pomiary radioznacznikowe masy transportowanej rumowiska wleczonego na potoku Targaniczanka i na rzece Rabie [Bartnik 1992]. Po wprowadzeniu modyfikacji formułę MPM można zapisać:

$$g_i = \left( \frac{\rho g h_i I - f_i g \Delta \rho_s d_i}{0,25 \rho^{0,33}} \right)^{1,5} \Delta p_i b_i \quad [\text{kNs}^{-1}]$$

Wartość zmiennych naprężeń krytycznych może być określona w sposób ogólny z następujących wzorów dla rzek i potoków górskich:

$$\text{dla } d_i / d_m < 0,6 : \varepsilon_i = 0,039 \delta^{0,26} / f_i = 1,786 (d_i / d_m)^{0,95}$$

$$\text{dla } d_i / d_m > 0,6 : \varepsilon_i = 0,028 \delta^{0,26} / f_i = (d_i / d_m)^{0,314}$$

natomiast transport całkowity będzie sumą transportów cząstkowych:

$$g_{wi} = b_i p_i g_i$$

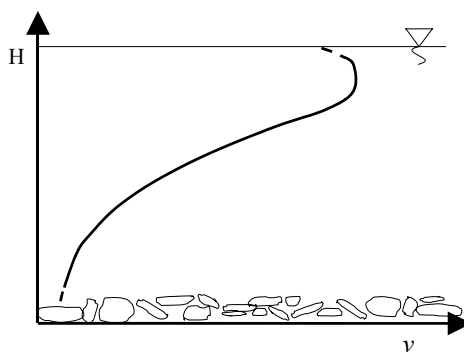
$$G_w = \sum g_{wi} t$$

### Teoria i równanie Bagnolda

Teoria Bagnolda (1986) transportu rumowiska rzecznoego opiera się na prawach fizyki ogólnej, dzięki czemu umożliwia jednoznaczne określenie intensywności transportu rumowiska wleczonego. Bagnold wprowadził moc strumienia jako iloczyn średniej prędkości przepływu wody  $v$  i naprężeń stycznych na dnie koryta, wyrażonych w jednostkach masowych  $\tau = \rho \cdot h \cdot I$ .

Jednostkową moc strumienia wyraża zależność:

$$\omega = \tau \cdot v$$



**Rysunek 39.** Rozkład prędkości ruchu wody w pionie hydrometrycznym koryta z dnem o znacznej szorstkości

**Figure 39.** Velocity distribution in hydrometric profile – river bed of high roughness

Transport rumowiska zaczyna się powyżej wartości progowej  $\omega_0$ . Na podstawie szerokich badań i analiz Bagnold stwierdził, że jednostkowa intensywność transportu rumowiska wleczonego  $i_b$  zmienia się jak (głębokość napelnienia)<sup>-2/3</sup> i jak (średnica ziarna)<sup>-1/2</sup>. Dla stałej głębokości przepływu intensywność  $i_b$  zmienia się jak (moc strumienia)<sup>3/2</sup>. Ogólnie można tę zmienność ująć w następującej postaci:

$$i_b \approx (\omega - \omega_0)^{3/2} h^{-2/3} d^{-1/2}$$

W celu wyeliminowania niejednorodności wymiarowej tego równania Bagnold zaproponował jego postać bezwymiarową:

$$\frac{i_b}{(i_b)_*} = \left( \frac{\omega - \omega_0}{(\omega - \omega_0)_*} \right)^{3/2} \left( \frac{h}{h_*} \right)^{-2/3} \left( \frac{d}{d_*} \right)^{-1/2}$$

gdzie wielkości oznaczone gwiazdką są wybierane arbitralnie na podstawie wszystkich dostępnych wyników badań laboratoryjnych i terenowych i wynoszą:

$$(i_b)_* = 0.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}, (\omega - \omega_0)_* = 0.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$h_* = 0.1 \text{ m}, d = 1.1 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Zależność intensywności transportu rumowiska  $i_b$  od mocy strumienia  $(\omega - \omega_0)$  w skali logarytmicznej jest linią prostą i pokazuje jej perfekcyjne dopasowanie do wyników eksperymentalnych, przeprowadzonych zarówno w korytach laboratoryjnych jak i na różnych rzekach, w tym również na rzece Rabe.

Dla cieków, w których mamy do czynienia ze zmiennym natężeniem przepływu wody i rumowiska, podstawowym zagadnieniem jest wyznaczenie miarodajnego natężenia przepływu na podstawie ilości transportowanego rumowiska w danym przekroju oraz określenie zdolności transportowej ciek.

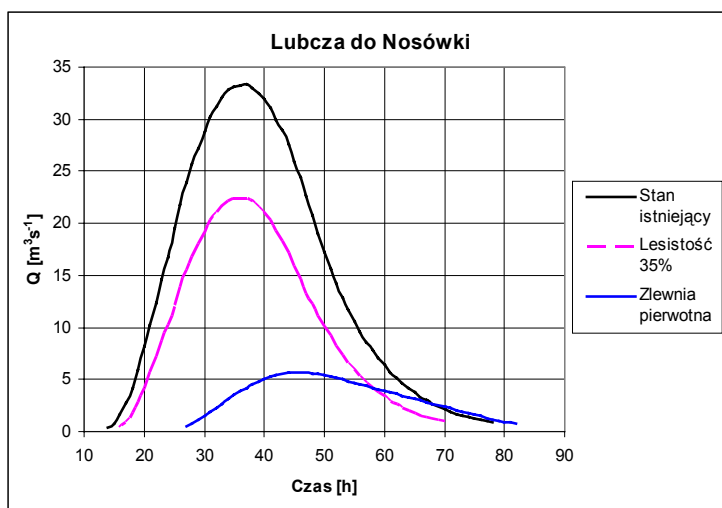
Badania ruchu rumowiska wleczonego były prowadzone w kilku kierunkach i miały na celu wnikliwe rozpoznanie zjawiska w określeniu warunków stabilności koryta rzecznej. Rozwój badań wiąże się ściśle z doskonaleniem metod pomiarowych oraz znalezieniem równań opisujących transport rumowiska wleczonego i początek ruchu materiału dennego. Zastosowanie metody radioizotopowej, jako nie mającej praktycznie żadnych ograniczeń, poza spełnieniem wymagań ze względu na ochronę radiologiczną było podstawą do wyznaczenia granicznych wartości naprężeń ścinających dla różnych frakcji.

Obserwując zjawiska związane z okresowymi wezbraniem, zachodzące w korycie i dolinie ciek zlewni zamieszkałej, dochodzimy do wniosku, że istniejący stan dna, brzegów i terenu zalewowego jest główną konsekwencją zmian wywołanych przez zagospodarowanie zlewni. Zmiany te prowadzą do bardziej bezpośredniej relacji pomiędzy opadem i odpływem oraz do nasilenia zjawisk wywołanych przez wezbranie.

Aby prześledzić prawdopodobny wpływ poszczególnych czynników na dynamiczne zjawiska związane z przejściem wezbrania należy rozważyć, jak zmiany te wpływają na erozję, intensywność i ilość rumowiska wleczonego, którego zdolność do modyfikacji istniejącego układu korytowego jest decydującym czynnikiem w ocenie zagrożeń jakie niesie ze sobą wezbranie.

W odniesieniu do wybranego fragmentu zlewni potoku Lubcza opracowano prognozy przejścia wezbrania wywołane odpływem ze zlewni przy tych samych warunkach wybranego opadu, jednak z różnym zagospodarowaniem zlewni reprezentowanym przez:

- stan istniejący,
- opcję zawierającą koncepcyjne podniesienie wskaźnika lesistości do 35% ogólnej powierzchni zlewni,
- warunki odpowiadające zlewni pierwotnej, scharakteryzowanej przez minimalne zagospodarowanie, naturalne rozbudowane kompleksy leśne i naturalne kompleksy łąkowe.

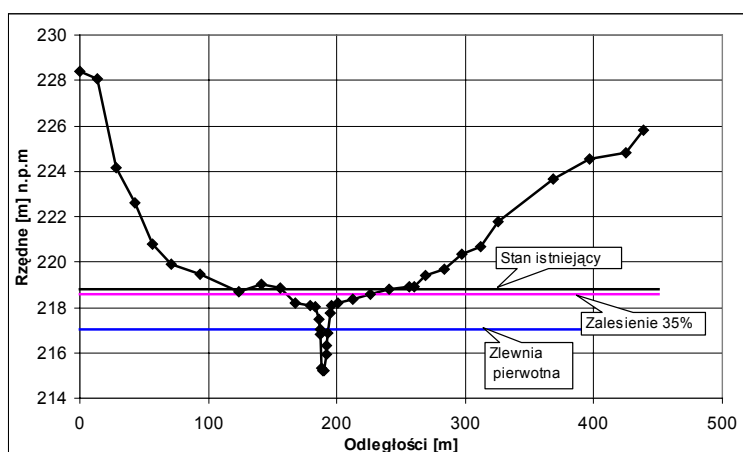


**Rysunek 40.** Hydrogram przejścia wezbrania w różnych warunkach zagospodarowania zlewni

**Figure 40.** Hydrograph of runoff under different conditions of catchment spatial development

Analiza przejścia fal wezbraniowych w przekroju zamykającym zlewnię wykazała, że podniesienie wskaźnika lesistości może oprócz znaczącego zmniejszenia całkowitego odpływu ze zlewni tylko w niewielkim stopniu obniżyć szczyt wezbrania. Przykładem dla zlewni użytkowej jest wartość obniżenia poziomu zwierciadła wody o 27 cm. W warunkach zlewni pierwotnej silnie zale-

sionej i praktycznie pozbawionej powierzchni o wysokim stopniu nieprzepuszczalności obniżenie szczytu wezbrania, w odniesieniu do warunków aktualnych, wyniosło 180 cm.



**Rysunek 41.** Przekrój poprzeczny badanego ciek, położenie zwierciadła wody w różnych warunkach zagospodarowania zlewni potoku Lubcza

**Figure 41.** Cross-section water levels in different catchment spatial development – Lubcza stream

Intensywność transportowanego rumowiska, w czasie trwania wezbrania jest jednym z ważnych parametrów informujących o szybkości zmian zachodzących w korycie jak również o możliwym rozmiarze zjawisk związanych z erozją materiału budującego i akumulacją brzegów oraz dna ciek. Całkowita ilość przetransportowanego rumowiska i jej zmiany w różnych wariantach zagospodarowania zlewni wykazują znaczny wpływ istniejącego stanu zabudowy uszczelniającej podłoże, co zmienia dynamikę odpływu i w konsekwencji istniejący wpływ antropogeniczny. Może to być przyczyną nawet 30-krotnego zwiększenia objętości materiału transportowanego.

**Wyniki pomiarów przeprowadzonych na rzekach karpackich.** Analizując zestawienia dotyczące granicznych warunków ruchu w rzekach i potokach Podkarpacia (tab. 14.) i porównując wyniki tych badań z parametrami występującymi w potoku Lubcza można stwierdzić, że w przypadku frakcji o podobnych wielkościach ziarna tj.  $d=2\text{cm}$  naprężenia krytyczne początku ruchu przyjmują dla potoku Lubcza wartości  $44\text{kN/m}^2$ . Potwierdza to obecność również grubszych frakcji kamienia o średnicach około decymetra. Podobnie jak w potoku Targaniczanka oraz w rzece Rابية wynik ten można tłumaczyć znacznie szerszym zakresem występujących frakcji. Zjawisko to pojawia się w znacznie mniejszym stopniu na rzekach Dunajec i Wisłoka, co prowadzi do niższych granicznych wartości ruchu na tych ciekach.



**Tabela 14.** Zestawienie zmian intensywności i objętości całkowitej transportowanego rumowiska wleczonego wg MPM i Bagnolda  
**Table 14.** Listing of intensity and total capacity of the bedload transport calculated using MPM and Bagnold

Wynik	Stan istniejący	Podniesienie lesistości do 35%	Zlewnia pierwotna
Strumień transportu MPM/Bagnold [kg/mb·s]	3,53/2,23	3,37/2,12	2,37/0,92
Objętość rumowiska po przejściu fali [m <sup>3</sup> ]	2195	1071	71

**Tabela 15.** Zestawienie wyników pomiarów uziarnienia dennego i warunków granicznych ruchu dla wybranych rzek i potoków Podkarpacia  
**Table 15.** Listing of the grain-size measurements and the critical parameters of flow for chosen Subcarpatian rivers and streams

Rzeka	$d_i$ [m]	$f_i$	$\tau_{okr}$ [Nm <sup>2</sup> ]	$V_*$ [ms <sup>-1</sup> ]
Targaniczanka	0,02	0,057	18,296	0,135
	0,04	0,036	23,358	0,153
	0,06	0,032	30,852	0,176
	0,08	0,029	37,582	0,194
	0,10	0,027	43,802	0,209
	0,12	0,025	49,639	0,223
	0,18	0,022	65,550	0,256
Raba	0,0025	0,069	28,057	0,167
	0,02	0,104	33,805	0,183
	0,04	0,045	29,224	0,171
	0,06	0,032	31,529	0,178
	0,08	0,026	33,688	0,183
	0,18	0,012	38,750	0,197
Wisłoka	0,00275	0,029	1,295	0,032
	0,0045	0,025	1,844	0,038
	0,009	0,019	2,845	0,050
	0,018	0,014	3,934	0,062
	0,0225	0,014	4,944	0,070
Dunajec	0,0025	0,028	1,246	0,035
	0,0075	0,023	2,757	0,052
	0,0205	0,014	4,787	0,069
	0,0265	0,013	5,641	0,075

gdzie:

- $d_i$  – średnica i-tej frakcji,
- $f_i$  – naprężenia bezwymiarowe,
- $\tau_{okr}$  – krytyczne naprężenia ścinające,
- $V_*$  – prędkość krytyczna.

Z przedstawionych wyników pomiarów i zestawienie wyników obliczeń wynika, że procesy korytowórcze zachodzących w dnie potoku Lubcza są intensywne. Duża siła transportująca potoku i potencjalnie silne procesy zarówno erozji jak i akumulacji występującej na odcinkach o większych spadkach, w pobliżu dopływów, w miejscach silnie przekształconych jak i na odcinkach cieków o mniejszym spadku i o szerszej dolinie, gdzie okresowo pojawia się zalew.

## WNIOSKI

Obserwacja warunków panujących w zlewniach, mikrozlewniach i na wybranych powierzchniach gminy Boguchwała charakteryzujących się wyodrębnioną strukturą zagospodarowania pozwala na określenie parametrów retencyjności tych powierzchni. Możliwość wykazania bezpośredniego wpływu procentowego pokrycia terenu zabudową, zmian wskaźnika lesistości i zastosowania koncepcji zbiorników na zmiany retencyjności zlewni pozwala na określenie parametrów hydraulicznych prognozowanego odpływu. Możliwe jest zatem uzyskanie odpowiedzi na pytanie jak konkretny plan zagospodarowania przestrzennego zlewni wpłynie na zdolność przepustową istniejącej sieci cieków. Szczególne znaczenie ma przy tym możliwość określenia dynamiki zjawisk związanych z transportowanym rumowiskiem wleczonym. Obserwacje dowodzą między innymi, że luźna zabudowa obszarów wsi nie osiąga zwykle wartości wskaźnika uszczelnienia podłoża w wysokości 5%, natomiast gęsta i wsparta dobrze zorganizowaną siecią drogową i zaopatrzeniem w media cząstkowa powierzchnia wsi może osiągać 20% stopień pokrycia. W odniesieniu do powierzchni miejskich w małym stopniu zagospodarowanych uszczelnienie wyniesie już 5–10% co jest wartością charakterystyczną dla znacznych powierzchni. W obszarze miejskim można spodziewać się zwartej zabudowy budynkami jednorodinnymi gdzie stopień uszczelnienia wynosi najczęściej 20 do 30%, rosnąc w przypadku powierzchni gdzie dalsza zabudowa nie jest już możliwa do 35%. Szczególnie wart uwagi jest fakt, że podczas gdy wymienione wartości osiągnięte są w centrach miejscowości mających za sobą historię kilku dekad rozbudowy to planowane od podstaw lub nowo powstałe osiedla zabudowy wielorodzinnej praktycznie od początku wykazują szczególnie wysoki wskaźnik uszczelnienia podłoża rzędu 60–70%. Należy zauważyć, że wpływ stopnia pokrycia podłoża na wzrost dynamiki odpływu jest nieliniowy - im większa powierzchnia i im wyższy wskaźnik jej uszczelnienia, tym nieproporcjonalnie wysoki jest wzrost odpływu w porównaniu z powierzchnią niezabudowaną czy nawet użytkowaną rolniczo. Z drugiej strony wzrost wskaźnika lesistości, który w odniesieniu do całych zlewni przynosi zbawienne rezultaty, nie wpływa w znaczącym stopniu na warunki odpływu z mikrozlewni, gdzie efekt zabudowy może mieć wpływ silnie zmieniający przepustowość cieków odprowadzających wodę. Konsekwencje takiej sytuacji prowadzą do wytworzenia się na potoku Lubcza o parametrach wskazujących na dynamikę małego cieków o charakterze nizinnym, warunków w dnie odpowiadających ciekom o znacznie wyższym spadku (2-6krotnie) i większej dynamice tj. zbliżonych do

potoków pogórza (Raba, Targaniczanka). Przedstawione zjawiska mają charakter lokalny, a ich występowanie wiąże się głównie z wpływem antropogenicznym.

Na podstawie przedstawionych zależności można powiedzieć, że metoda polegająca na określeniu współczynnika pokrycia powierzchni zlewni zabudową i jej wpływu na zmiany parametrów hydrologicznych, takich jak odpływ, może być wartościowym narzędziem w ocenie warunków i zagrożeń panujących w zlewniach gminy.

## BIBLIOGRAFIA

- Bartnik W. *Hydraulika potoków z dnem ruchomym*. Początek ruchu rumowiska. Zesz. Nauk. AR w Krakowie. Rozprawa hab. Nr 171, 1992, s. 61–67.
- Bartnik W., Florek J. *Ocena warunków równowagi hydrodynamicznej potoku górskiego na podstawie analizy hydraulicznych parametrów przepływu*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, ser. Inżynieria Środowiska, 20, 2000, s. 163–175.
- Bogardi J. *Sediment transport in alluvial streams*. Akademiai Kiado, Budapeszt 1978.
- Bonenberg J. *Zastosowanie kryteriów użytkowania gruntów w zlewni rzecznej w planowaniu gospodarowania wodami – rozprawa doktorska*. Wydział Inżynierii Środowiska PK, 2006.
- Civco D. L., Chabaeva A., Prisløe S. *Geospatial Extension Specialist; Development of a population density and land use based regression model to calculate the amount of Imperviousness*. ASPRS Annual Conference Proceedings; Denver, Colorado 2004.
- Georgia stormwater management manual*. Stormwater Policy Guidebook AMEC Earth and Environmental Center for Watershed Protection, Debo and Associates, Jordan Jones and Goulding, Atlanta Regional Commission; U.S, 2001.
- Gessler J. *Beginning and ceasing sediment motion* [w:] *River Mechanics*, red. H. W. Shen Rozdz. 7, 1971.
- Graf W. H. *A method to calculate total load*. Advance in Sediment Transport, Ossolineum, Wrocław, Warszawa, Kraków, Gdańsk, Łódź, 1981, s. 187–239.
- Koehn J. D., Brierley G. J., Cant B. L., Lucas A. M. *River Restoration Framework*. Land & Water; Australia 2001.
- Michalik. A. *Badania intensywności transportu rumowiska włączonego w rzekach karpaccich*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, ser. Rozpr. hab. 138, 1990.
- Nachlik E. *Identyfikacja i ocena antropogeniczna oddziaływań na zasoby wodne zlewni Raby wraz z oszacowaniem ryzyka nieosiągnięcia celów środowiskowych*. Praca zbiorowa. Monografia nr 318, Seria IŚ Politechniki Krakowskiej, 2006.
- Nachlik E. i współprac. *Identyfikacja i ocena oddziaływań antropogenicznych na zasoby wodne dla wskazania części wód zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych*. Monografia PK w Krakowie, 2004.
- Phillips N., Bennett J. and Moulton D. *Principles and Tools for Protecting Australian Rivers; Land & Water Australia/ Queensland Environmental Protection Agency; Canberra ACT 2601; Australia, 2001.*
- Rutherford I. D., Jerie K., Marsh N. *A Rehabilitation Manual for Australian Streams* vol. 1; Co-operative Research Centre for Catchment Hydrology, Land and Water Resources Research and Development Corporation; Canberra ACT 2601 Monash University; Australia, 2000.

*Wojciech Bartnik, Jacek Bonenberg, Jacek Florek*

---

Rutherford I. D., Jerie K., Marsh N. *A Rehabilitation Manual for Australian Streams* Vol 2: Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Land and Water Resources Research and Development Corporation; Canberra ACT 2601 Monash University; Australia 2000.

Zielinski J. *Watershed Vulnerability Analysis*. Center for Watershed Protection; Ellicott City, MD 21043; www.cwp.org; the United States of America, 2002.

Prof. dr hab. inż. Wojciech Bartnik  
Dr inż. Jacek Florek  
Katedra Inżynierii Wodnej  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
rmflorek@cyf-kr.edu.pl  
rmbartni@cyf-kr.edu.pl  
012 6624023

Dr inż. Jacek Bonenberg  
jacekbonenberg@interia.pl



## Streszczenie

Powszechnym zjawiskiem występującym w obrębie zlewni małych cieków jest znaczny wzrost zagospodarowania w okresie ostatnich dwudziestu lat. Rozwój ten jest efektem przemian gospodarczych zachodzących w naszym kraju a jego efektem są zjawiska towarzyszące narastającemu stopniowi pokrycia zlewni wszelkiego rodzaju zabudową jak i zmiany w sposobie gospodarowania. Zaobserwować można odstępianie od intensywnego rolniczego wykorzystania w znacznej części powierzchni uprawnej zlewni jak i zintensyfikowania gospodarki rolnej w wybranych, korzystnie położonych jej częściach. Procesy te mają charakter narastający i prowadzą do znaczących zmian w hydrologicznych warunkach odpływu ze zlewni co narzuca konieczność zweryfikowania funkcjonalności istniejącej struktury urządzeń regulacji wodnych.

Autorzy prezentują zagadnienia związane ze zmianą zdolności retencyjnej zlewni, określili warunki wpływu zabudowy na uszczelnienie podłoża i na retencyjność deszczu. Przedstawiono koncepcje zmian w zagospodarowaniu terenu, obliczono pojemności zbiorników retencyjnych, określono wpływ niedoborów retencyjnych i zmian wskaźnika lesistości na warunki transportu rumowiska wleczonego. Określono parametry graniczne ruchu materiału dennego.

**Słowa kluczowe:** retencja, zlewnia, uszczelnienie podłoża, charakterystyka odpływu, rumowisko wleczone

## Summary

*A common phenomenon occurring in small river basins is an increase of spatial development in the period of last 20 years. This development is an effect of economic changes in our country, resulting in growing land cover by all sorts of infrastructure as well as in changes in method of development. It may be observed both giving up the intensive agricultural use in large parts of arable areas and even greater intensification of agricultural use in some selected favorable situated locations. Those processes are of increasing character and lead to substantial changes in hydrological conditions of runoff, which imposes the necessity of verification of the functionality of the existing water regulation structures.*

*The authors have presented issues connected with changing basin storage and determined the influence of spatial development on basin surface sealing and rainwater storage. Concepts of land use changes were presented; calculations of water storage reservoir capacity were made, as well as the influence of storage deficit and changes in forest cover magnitude on bedload transport conditions. Critical parameters of bedload movement were calculated.*

**Key words:** retention, basin, land cover, runoff conditions, bedload transport

### ***INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH***

Czasopismo naukowe wydawane przez Komisję Technicznej Infrastruktury Wsi Polskiej Akademii Nauk Oddział w Krakowie. Ma charakter ogólnokrajowy i jest otwarte na Autorów z całego świata. Wydawane jest w języku polskim i angielskim. Zgłaszane do publikacji artykuły winny być oryginalnym osiągnięciem Autora, dotychczas niepublikowane, poświęcone problemom technologicznym, projektowym, ekonomicznym lub teoretycznym z tytułowego zakresu czasopisma. Przyjmujemy manuskrypty, w objętości do 10 str. pisma komputerowego (Times New Roman, 12, odstęp 1,5) napisane w języku polskim lub angielskim. Autorów spoza Polski prosimy o nadsyłanie manuskryptów w języku angielskim. Każdy artykuł winien być zaopatrzony w wyczerpujące streszczenie ze słowami kluczowymi (w języku manuskryptu) do 3000 znaków (jedna strona), wraz z załączonym tłumaczeniem angielskim. Drukujemy również w kolorze, w przypadku istotnej konieczności (fotografie, skomplikowane rysunki, mapy). Manuskrypt, w dwóch egzemplarzach należy przesłać pocztą na adres Redakcji, dołączając tekst na dyskietce lub CD, z oddzielnymi ilustracjami.

### ***INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS***

Scientific journal published by the Commission of Technical Infrastructure of Polish Rural Areas of the Academy of Letters - Krakow Branch. It is a nation wide journal, which accepts contributions from Authors from all over the world. It is published in Polish and English. Submitted contributions should be original scientific papers, so far unpublished, dealing with technological, design, economic or theoretical issues within the scope of the journal.

Submitted manuscripts should not exceed 10 typewritten pages (Times New Roman, font 12, 1.5 line spacing). The Authors from abroad may submit their papers in English. Each article must have a summary and keywords of not more than 3000 characters (one page). Color reproductions are possible only in special cases (photographs, complicated figures or maps). The manuscripts, in duplicate, should be sent by post to the editorial office. Electronic version on a diskette or CD with illustrations provided separately should accompany the hard copies

### ***INFARSTRUKTUR UND ÖKOLOGIE DES LÄNDLICHEN RAUMS***

Die neue Forschungszeitschrift der Kommission der Technischen Infrastruktur an der Polnischen Wissenschaftsakademie, Abteilung in Krakau, hat ein nationaler Charakter und publiziert gern die Arbeiten von Autoren aus Polen sowie auch aus der ganze Welt. Die Forschungszeitschrift wird in Polnisch und Englisch verlegt.

Die vorgelegten Artikel sollen Originalarbeiten sein und dürfen nicht gleichzeitig an anderer Stelle zur Publikation eingereicht werden. Die Forschungsarbeiten sollen den Technologischen, Wirtschaftlichen. Planungs- sowie auch den theoretischen Problemen gewidmet sein, die eng der Titelbereich der Zeitschrift behandeln. Zugesandte Manuskripte sollen mit dem Umfang von höchstens 10 Druckseiten (Times New Roman, Schriftgrosse: 12 pt, Zeilenabstand: 1.5-fach) sein. Für die Autor/innen ausserhalb Polens wird es zugelassen die Manuskripten in Englisch zuschicken.

Dem Text wird im Manuskript eine Zusammenfassung mit den Schlussworten vorangestellt, die eine Länge von 3000 Zeichen (1 Druckseite) nicht übersteigen sollte.

Nach Bedarf drucken wir auch in Farbe (Aufnahmen, Karten, komplizierte Bilden).

Die zwei ausgedruckte Exemplare eines Manuskripts mit der Diskettenversion (die Abbildungen getrennt) bitte zur Redaktion senden.