

Wpłynęło 27.01.2016 r.  
Zrecenzowano 23.06.2016 r.  
Zaakceptowano 04.07.2016 r.  
A – koncepcja  
B – zestawienie danych  
C – analizy statystyczne  
D – interpretacja wyników  
E – przygotowanie maszynopisu  
F – przegląd literatury

# KSZTAŁTOWANIE ZRÓWNOWAŻONEGO UŻYTKOWANIA ZIEM KARPACKICH W ŚWIETLE BADAŃ SYMULACYJNYCH

**Robert KURNICKI**<sup>ABCDEF</sup>, **Marek KOSTUCH**<sup>ABCDEF</sup>,  
**Stanisław TWARDY**<sup>ABCDEF</sup>

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie

## Streszczenie

W pracy wykorzystano model J2000-S udostępniony dzięki współpracy polsko-niemieckiej w ramach projektu SaLMaR. Modelowano zmiany strukturalne zlewni górnego Dunajca w trzech wariantach scenariusza użytkowania powierzchni terenu. Koncepcja scenariuszy powstała w wyniku analizy stanowisk interesariuszy wyrażonych w trakcie ankietyzacji wykonanej zgodnie z koncepcją DPSIR (ang. Driving forces, Pressures, States, Impacts, Responses), a także w następstwie własnych analiz trendów zmian zagospodarowania przestrzennego. Analizy te uwzględniały założenia gminne i powiatowe w odniesieniu do dokumentacji planistycznych. Model J2000-S został skalibrowany i zwalidowany pod wnikliwym nadzorem niemieckich twórców. Jego zastosowanie dało podstawy do stwierdzenia, że czynnikami decydującymi o stanie ilościowo-jakościowym wód powierzchniowych zlewni są, poza lasami i użytkami zielonymi, obszary zabudowane oraz związane z nimi uwarunkowania infrastrukturalne.

Stwierdzono, że na obecnym poziomie rozwoju gospodarczego zarządzanie obszarem rozpatrywanej zlewni jest optymalne. Dalsze zwiększanie powierzchni terenów zurbanizowanych będzie niekorzystne, co ujawni się zwłaszcza w warunkach ekstremalnych stanów wód. Dlatego też należałoby przemyśleć decyzje dotyczące zabudowy, zwłaszcza na potrzeby szeroko rozumianych usług hotelowo-turystycznych.

**Słowa kluczowe:** metoda DPSIR (siły sprawcze, presje, stany, wpływy, reakcje), modelowanie zlewni, zarządzanie zlewnią, zrównoważony rozwój

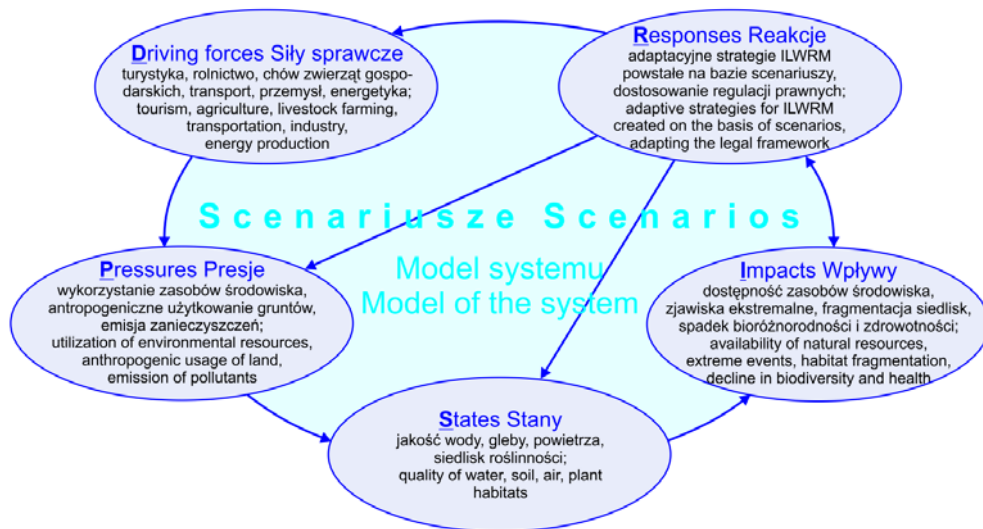
---

**Do cytowania For citation:** Kurnicki R., Kostuch M., Twardy S. 2016. Kształtowanie zrównoważonego użytkowania ziem karpackich w świetle badań symulacyjnych. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 16. Z. 3 (55) s. 47-60.

## WSTĘP

Obszary karpackie są zaliczane w Polsce do terenów wodorodnych. Rozpatrywanie ich funkcji hydrologicznych wymaga holistycznego podejścia koncepcyjnego oraz zintegrowanej metodologii. Uwzględniałoby ono zarówno procesy fizyczne, jak również strukturę oraz intensywność użytkowania zlewni [SZYMCZAK 2005]. Ważna jest też aktywność społeczna związana z urbanizacją i infrastrukturą.

Takie ramy koncepcyjne przewiduje metoda DPSIR (ang. Driving forces, Pressures, States, Impacts, Responses) opracowana przez Europejską Agencję Środowiska [SMEETS, WETERINGS 1999]. Niemieccy partnerzy konsorcjum SaLMaR (ang. Sustainable Land and Water Management of Reservoir Catchments), pracownicy Uniwersytetu Friedricha Schillera w Jenie, wypracowali podejście metodologiczne oraz narzędzia informatyczne (tj. model J2000-S oraz zlewniowy system informacyjny RBIS – ang. River Basin Information System), niezbędne do praktycznego zastosowania metody DPSIR w zarządzaniu zlewnią [KRALISCH i in. 2011; TWARDY i in. 2013]. Następnie zostały one rozwinięte i przetestowane podczas realizacji wielu projektów międzynarodowych finansowanych przez BMBF (nm. Bundesministerium für Bildung und Forschung), a wśród nich np. w projekcie BRAHMATWINN zrealizowanym w zlewni rzeki Brahmaputra [FLÜGEL 2011]. Sposób adaptacji metody DPSIR do projektu SaLMaR przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Metoda DPSIR (ang. Driving forces, Pressures, States, Impacts, Responses) zaadaptowana do potrzeb realizacji projektu SaLMaR; źródło: opracowanie własne na podstawie: SMEETS, WETERINGS [1999]

Fig. 1. DPSIR method adapted to the needs of SaLMaR project implementation; source: own elaboration based on: SMEETS, WETERINGS [1999]

Stosowane w projekcie podejście ILWRM (ang. Integrated Land and Water Resources Management, czyli zintegrowany system zarządzania terenem i zasobami wodnymi) stanowi kontynuację znanej koncepcji IWRM, która „promuje skoordynowany rozwój i zarządzanie zasobami wodnymi i lądowymi w celu maksymalizacji uzyskania dobrobytu gospodarczego i społecznego w równorzędny, sprawiedliwy sposób, bez narażania stabilności ważnych ekosystemów” [FLÜGEL 2010; GWP 2009; TWARDY i in. 2015a].

Należy zaznaczyć, że ILWRM cechują właściwości podejścia przekrojowego i wielosektorowego, a przy tym charakteryzującego się wewnętrzną złożonością. W celu wdrożenia skutecznych, sprawiedliwych i trwałych rozwiązań problemów związanych z zarządzaniem obszarami zlewniowymi wykorzystuje się wiedzę z różnych dyscyplin. Ponadto, z uwagi na zapotrzebowanie społeczne, uwzględniane jest również stanowisko interesariuszy.

Do ochrony ekosystemów dąży się, równoważąc potrzeby społeczne, przyrodnicze i ekonomiczno-gospodarcze. Nie jest to działanie jednorazowe, lecz proces iteracyjny i długoterminowy. Uszczegółowione analizy przedstawione w niniejszej pracy obejmują zlewnię górnego Dunajca po przekrój w Nowym Targu i koncentrują się na aspekcie zmian zasobów ilościowych wód powierzchniowych. Obszar ten rozprzestrzenił się w Karpatach Zachodnich w przedziale hipsometrycznym 576–2301 m n.p.m. i obejmuje dwie zlewnie cząstkowe – Białego Dunajca i Czarnego Dunajca. Pod względem administracyjnym omawiany obszar leży w powiatach tatrzańskim i nowotarskim.

O wyborze obszaru badań zadecydowały jego cechy wodorodne, bogate urzeźbienie, duże deniwelacje, a także zrównoważony udział terenów leśnych i darniowych [KOPACZ, TWARDY 2015]. Na takie tło nakładają się procesy urbanizacyjne, wynikające z dość intensywnej rozbudowy obszarów zamieszkałych przez stałą i sezonowo napływającą ludność [TWARDY, KOPACZ 2014]. Wybór podanej części zlewni ściśle korespondował z innymi obszarami badawczymi wytypowanymi do realizacji projektu SaLMaR.

## CEL I METODY BADAŃ

Zarządzanie zasobami zlewni jest procesem złożonym, gdyż planiści i decydenci muszą rozpatrzyć wiele zbiorów danych [MIODUSZEWSKI, OKRUSZKO 2012; RADECKI-PAWLIK i in. 2014], a czasem także kontrowersyjnych informacji [FLÜGEL 2011]. ILWRM jest kompleksową strategią odpowiadającą na tego rodzaju wyzwania, która jednocześnie przyczynia się do zrównoważonego rozwoju obszarowego [MIODUSZEWSKI 2015; TWARDY, KOPACZ 2010].

Celem badań była identyfikacja wpływu zmian użytkowania terenu zlewni górnego Dunajca (po przekrój w Nowym Targu) na wielkość odpływu i kształt hydrogramu w trzech wariantach scenariuszowych. Wyniki z tego zakresu umożli-

wiają ocenę najkorzystniejszych z punktu widzenia prośrodowiskowego relacji między użytkowaniem zlewni a zasobami wodnymi.

Warianty scenariusza powstały na podstawie wyników ankietowych badań partycypacyjnych, aktualnych trendów zmian przestrzennego zagospodarowania terenu, a także obowiązującej dokumentacji planistycznej. Analiza scenariuszy pozwala na racjonalne ukierunkowanie działań zarządczych (administracyjnych i formalno-prawnych), które wpływają na kształtowanie zrównoważonego użytkowania ziem karpackich.

W procesie realizacyjnym wykorzystano materiały pochodzące z ankietyzacji interesariuszy, zlewniowy system informacyjny (RBIS) oraz model J2000-S, który został skalibrowany i zweryfikowany.

## CHARAKTERYSTYKA NARZĘDZI BADAWCZYCH

### ANKIETYZACJA

Na podstawie wywiadów z interesariuszami, mieszkańcami oraz ekspertami w zakresie zagrożeń hydrologicznych i społeczno-gospodarczych, jak również przeglądu literatury i obserwacji terenowych problematykę ujęto w pięciu głównych sferach, które obejmują szczególne uwarunkowania zlewni górnego Dunajca. Są to: 1) gospodarka wodna, 2) gospodarka wodno-ściekowa oraz zarządzanie odpadami, 3) skutki zmian klimatycznych, 4) zagospodarowanie obszarowo-przestrzenne, 5) demografia, osadnictwo oraz styl życia. Szczegółowe zagadnienia i problemy do rozwiązania ujęto, definiując po kilka grup tematycznych w każdej ze sfer.

Mając na względzie wymienione wyżej grupy zagadnień, wyznaczono nawiązujące do nich wskaźniki w ten sposób, aby w obrębie każdej sfery opisywały one problematykę społeczną, środowiskową, gospodarczą i administracyjną. Zbiór wszystkich wskaźników, zdefiniowany i uporządkowany w porozumieniu między partnerami, zgodnie ze standardem DPSIR, tworzy zintegrowaną listę wskaźników (ZLW). Współtworzą one elastyczną strukturę hierarchiczną, składającą się z czterech kategorii: dziedzina–dział–kryterium–wskaźnik.

Elementy istotne dla identyfikacji możliwych strategii ILWRM zostały skategoryzowane jako reakcje zgodnie z definicją DPSIR i sklasyfikowane w czterech grupach typologicznych: rozwiązania inżynierskie i zagospodarowanie terenu–zarządzanie administracyjne, wzmocnienie sił instytucjonalnych–doskonalenie wiedzy i tworzenie potencjału–rozwiązania oparte na instrumentach planistycznych.

Wykonano matryce ZLW, w których wskaźniki znajdują się w wierszach, zaś opcje odpowiedzi – w kolumnach. Powstały w ten sposób zestawy ankiet dla pięciu głównych sfer. Dobrano w nich wskaźniki odpowiednio do opisania, oszacowania i przewidywanego rozwiązania problemów występujących w analizowanej zlewni.

Rezultaty ankietyzacji zostały przeanalizowane i wzięte pod uwagę podczas tworzenia opcji scenariuszowych.

### SYSTEM INFORMACYJNY

Zlewniowy system informacyjny (RBIS) stanowi z założenia internetową platformę wymiany informacji z funkcjonalnością GIS pomiędzy partnerami realizującymi projekt, planistami, architektami krajobrazu, regionalnymi zarządami gospodarki wodnej, urzędami administracji publicznej oraz innymi osobami i instytucjonalnymi interesariuszami. Dzięki interfejsowi przyjaznemu użytkownikowi, z zastosowaniem standardu metadanych ISO 19115, do RBIS wprowadzono dane, które były niezbędne do realizacji projektu. Wśród nich znajdowały się m.in. wektorowe i rastrowe mapy cyfrowe, a także wieloletnie serie pomiarowe i pliki graficzne. Interfejs systemu zapewnia szeroki zakres użytkowy typu import/eksport wraz z możliwością poszerzenia funkcjonalności istniejących modułów zgodnie z potrzebami wszystkich partnerów.

RBIS ma szereg wbudowanych mechanizmów, służących np. do automatycznego wyświetlania wybranych obiektów wektorowych z bazy danych na mapie podkładowej, wizualizacji serii danych pomiarowych na wykresie oraz wprowadzania zapytań do bazy danych. Z systemem RBIS ściśle współpracuje zastosowany w projekcie model J2000-S.

### MODEL J2000-S

Model J2000-S jest kluczowym elementem procesu wspomagania decyzji w zakresie DPSIR [FINK i in. 2007; PFENNIG i in. 2009]. Poniższy opis dotyczy prac wykonanych z uwzględnieniem tego modelu, gdyż jego zastosowanie jest warunkiem strategii adaptacyjnej ILWRM. Integruje on zjawiska hydrologiczne i hydrochemiczne poprzez symulację obiegu wody w zlewni, a także symulację zjawisk erozyjnych oraz dynamiki transportu składników biogenych. Modelowanie umożliwiło ocenę stanu środowiska z uwzględnieniem przyjętych założeń w obrębie scenariuszy zarządzania zlewnią. Model J2000-S opisali szczegółowo KRALISCH i in. [2011].

Etapem przygotowawczym do modelowania było wyznaczenie tzw. jednostek odpowiedzi hydrologicznej (HRU – ang. hydrological response units). Są to obszary wewnątrz zlewni, które mają podobną charakterystykę [PFENNIG i in. 2009]. Poszczególne HRU są wyznaczane z uwzględnieniem przestrzennej niejednorodności obszaru, która wynika z jego ukształtowania, użytkowania, właściwości gleby oraz geologicznej struktury podłoża [KOPACZ, TWARDY 2015]. Informacje o wyżej wymienionych parametrach, niezbędnych do wyznaczenia HRU, uzyskano z map wektorowych i rastrowych (tab. 1). Zaawansowane techniki GIS, uwzględniające

**Tabela 1.** Mapy cyfrowe zastosowane do wyznaczenia jednostek odpowiedzi hydrologicznej (HRU)**Table 1.** Digital maps used for delineation of hydrological response units (HRU)

Rodzaj mapy Type of map	Czynniki parametryzacji modelu Factors of model parameterization
Numeryczny model terenu Digital terrain model	lokalizacja, kształt, nachylenie, ekspozycja, długość, powierzchnia, topologia location, shape, slope, aspect, length, area, topology
Użytkowanie powierzchni terenu Landuse	szczelność powierzchni, roślinność, indeks powierzchni liści, intercepcja, ewapotranspiracja rzeczywista surface tightness, vegetation, leaf area index, interception, actual evapotranspiration
Gleby Soils	objętość porów, pojemność polowa, tekstura, przewodność nasycenia i magazynowania wody przez poziomy wodonośne pore volume, field capacity, texture, saturation conductivity
Geologia Geology	współczynniki filtracji, porowatość, zdolność transportu i magazynowania wody przez poziomy wodonośne filtration coefficients, porosity, ability to transport and store water in aquifers

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

odpowiednią rozdzielczość i skalę map umożliwiły wyznaczenie obszarów HRU. Ich liczba w badanej zlewni wyniosła kilkanaście tysięcy.

Działanie modelu J2000-S, poza danymi kartograficznymi, wymagało również przygotowania i wprowadzenia w odpowiedniej formie licznych zbiorów danych alfanumerycznych. Należą do nich hydrometeorologiczne serie danych pomiarowych z wielolecia oraz dane parametryczne. Dane hydrologiczne i meteorologiczne niezbędne do uruchomienia modelu J2000-S obejmują: przepływ obserwowany w przekroju zamykającym zlewnię, ilość opadów, usłonecznienie, wilgotność bezwzględną powietrza atmosferycznego, prędkość wiatru oraz temperaturę powietrza (maksymalną, minimalną i średnią). Wszystkie powyższe dane są danymi dobowymi. Natomiast dane parametryczne dotyczą: gatunków roślin występujących na terenie zlewni, w tym uprawnych, wraz z ich właściwościami; stosowanych nawozów mineralnych i organicznych oraz ich składu chemicznego, parametrów hydrologicznych poziomów wodonośnych, rotacji upraw z przypisaniem do poszczególnych HRU, właściwości klas użytkowania terenu, zabiegów rolniczych stosowanych według rodzaju upraw, cieków zidentyfikowanych na podstawie numerycznego modelu terenu, typów profili glebowych wraz z charakterystyką w podziale na warstwy, a nawet maszyn rolniczych wraz z charakterystyką wykonywanych nimi zabiegów. Wszystkie wyżej wymienione dane zostały pozyskane z 20 lat z różnorodnych źródeł i, po odpowiednim przetworzeniu, wprowadzone do systemu J2000-S.

Prace modelowe polegały na takim doborze zespołu współczynników modelu J2000-S, aby osiągnąć jak najlepsze dopasowanie odpływu symulowanego do rzeczywistego. Taką kalibrację wykonano metodą prób i błędów [KRALISCH i in.

2007], w związku z czym pojedynczy cykl modelowania zabierał nieraz nawet kilkanaście godzin.

Z kolei weryfikacja modelu polegała na sprawdzeniu dopasowania odpływów symulowanych do rzeczywistych, w przedziale czasowym innym niż kalibracja. Poza wizualizacją zgodności wykresu symulowanego z rzeczywistym użytkownik ma również do dyspozycji zestawienie statystyczne. Jest ono generowane przez program automatycznie po zakończeniu cyklu modelowania i stanowi obiektywną miarę oceny sprawności modelu. Zestawienie uwzględnia m.in. współczynniki Nasha–Sutcliffe’a ( $E2$ ,  $\ln E2$ ) wyznaczone wg wzorów (1) i (2), współczynnik determinacji ( $R^2$ ) wg wzoru (3), ważony współczynnik determinacji ( $wR^2$ ) wg wzoru (4) oraz błąd bezwzględny objętości skumulowanej ( $ave$ ) wg wzoru (5) [FINK 2014]:

$$E2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (1)$$

$$\ln E2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\ln P_i - \ln O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\ln O_i - \ln \bar{O})^2} \quad (2)$$

$$R^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) \cdot (P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2 \quad (3)$$

$$wR^2 = \begin{cases} |b| \cdot Rsq & \text{dla } b \leq 1 \\ |b|^{-1} \cdot Rsq & \text{dla } b > 1 \end{cases} \quad (4)$$

$$ave = \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad (5)$$

gdzie:

$P$  = wartość symulowana,

$O$  = wartość zmierzona,

$b$  = współczynnik regresji.

Oprogramowanie modelu J2000-S nieustannie jest udoskonalane i aktualizowane. Jest ono dostępne do pobrania na stronie Uniwersytetu Friedricha Schillera w Jenie [JAMS niedatowane] i może być wykorzystywane przez szerokie grono odbiorców zainteresowanych problematyką zintegrowanego zarządzania terenem i zasobami wodnymi.

## WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Badania ankietowe wskazują, że interesariusze za najbardziej właściwą – ze względu na potrzeby badanej zlewni – wybrali grupę opcji reagowania „rozwiązania inżynierskie i zagospodarowanie terenu”. Wśród indywidualnych opcji reagowania wysoko uplasowały się następujące: „gospodarka leśna i lokalizacja obszarów leśnych”, „gospodarka rolna i lokalizacja obszarów rolnych” oraz „planowanie przestrzenne użytkowania ziemi w zlewni”.

Spośród wszystkich wskaźników za najbardziej znaczące uznano te, które należą do kryteriów „turystyka”, „demografia” oraz „struktura użytkowania”, natomiast spośród wskaźników strukturalnych – „udział obszarów zabudowanych”, „udział obszarów z trwałą okrywą roślinną”, „położenie przestrzenne obszarów zabudowanych”, „udział użytków ornyczych” oraz „udział obszarów prawnie chronionych”.

Opinie interesariuszy, wyrażone w odpowiedziach udzielonych w ankietach, ukierunkowały realizację kolejnych etapów projektu. Wsparty one proces podejmowania decyzji, stanowiąc podstawę ewaluacji alternatywnych opcji zarządzania zlewnią ILWRM podczas rozpatrywania scenariuszy. Preferencje interesariuszy, ujawnione w procesie partycypacyjno-decyzyjnym, odzwierciedlają prawdopodobne trendy przyszłych zmian użytkowania terenu zlewni oraz rozwoju społeczno-gospodarczego. Odpowiednio przetworzone do formy wariantowych scenariuszy zmian strukturalnych dostarczyły informacji: co ulegnie zmianie, gdzie nastąpi zmiana oraz jaką intensywność lub amplitudę zmiana ta osiągnie. Dlatego też rozpatrzono scenariusze zmian struktury użytkowania powierzchni terenu zlewni, w których przyjęto podane niżej założenia.

- **Scenariusz 1.** Powierzchnia obszarów zabudowanych zwiększy się o 30% względem stanu obecnego. Udział ten zwiększy się na terenach do tego przewidzianych w planach „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego” (SUKZP) danej gminy. Na pozostałych terenach dotychczasowa zabudowa i inne kategorie użytkowania pozostaną niezmienione.
- **Scenariusz 2.** Powierzchnia obszarów zabudowanych zwiększy się do maksymalnych zasięgów wskazanych w planach SUKZP. Na pozostałych terenach zarówno zabudowa, jak i inne kategorie użytkowania nie ulegną zmianie.
- **Scenariusz 3.** Powierzchnia gruntów ornyczych zwiększy się o 100% kosztem użytków zielonych. Powierzchnia lasów (poza terenami prawnie chronionymi) zmaleje o 10% na rzecz użytków zielonych. Powierzchnia obszarów zabudowanych oraz inne kategorie użytkowania pozostaną bez zmian w stosunku do stanu obecnego.

Aktualną strukturę rodzajów użytkowania powierzchni zlewni górnego Dunajca po przekrój w Nowym Targu zestawiono z jej rozpatrywanymi wariantami scenariuszowymi w tabeli 2.



**Tabela 2.** Struktura użytkowania powierzchni – stan obecny oraz wg rozpatrywanych scenariuszy**Table 2.** Land use structure according to the current state and in the analyzed scenarios

Rodzaj użytkowania Land use category	Aktualna struktura użytkowania powierzchni Current land use structure	Modelowana struktura użytkowania Modeled land use structure		
		scenariusz 1 scenario 1	scenariusz 2 scenario 2	scenariusz 3 scenario 3
	%			
Tereny zabudowane, drogi, skały Built-up areas, roads, bare rocks	8,4	9,9	17,0	8,4
Użytki zielone Grasslands	44,9	43,4	36,8	46,2
Grunty orne Arable land	2,9	2,9	2,4	5,9
Lasy i zadrzewienia Forests and woodlands	42,4	42,4	42,4	38,1
Woda i tereny podmokłe Water and wetlands	1,4	1,4	1,4	1,4

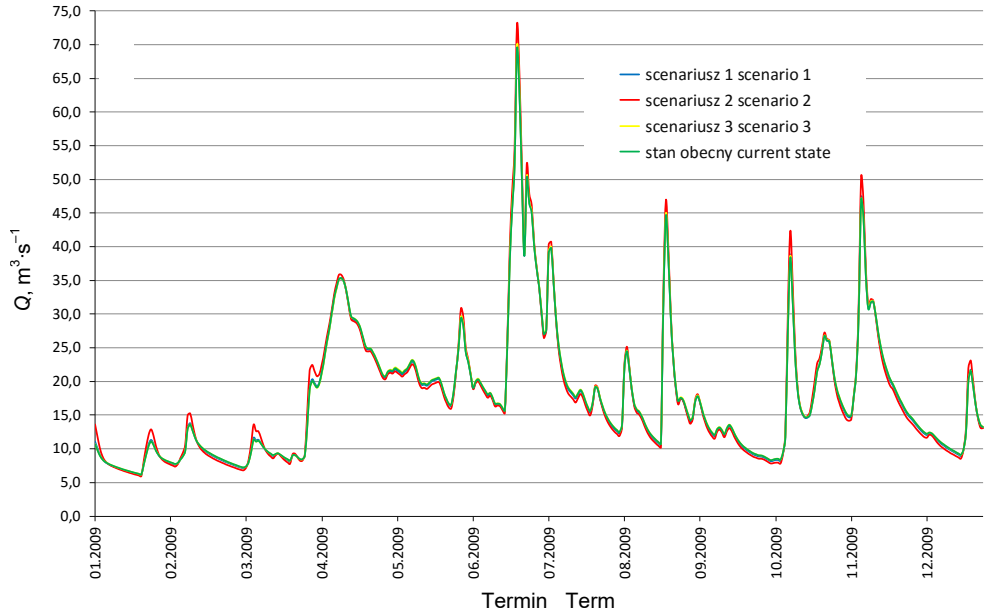
Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Do określenia stanu obecnego i trzech scenariuszy konieczne było wyznaczenie HRU, które następnie wprowadzono do modelu J2000-S. Proces modelowania obejmował następujące etapy: przygotowania danych wejściowych i plików parametrycznych, parametryzację modelu oraz jego kalibrację i weryfikację. Wartości współczynników statystycznych, obliczone dla stanu obecnego przez model J2000-S wg wzorów (1)–(5), wynoszą odpowiednio  $E2 = 0,69$ ,  $\ln E2 = 0,52$ ,  $R^2 = 0,72$ ,  $wR^2 = 0,62$ ,  $ave = 6710$ . Wskazują one na poprawność procesu modelowania.

Rezultatem modelowania hydrologicznego były hydrogramy odpływu symulowanego dla stanu obecnego i trzech scenariuszy. Przykładowe hydrogramy przedstawiono na rysunkach 2., 3. i 4., gdzie rysunki 3. i 4. są uszczegółowionymi fragmentami rysunku 2. (co łatwo stwierdzić, porównując daty). W tabelach 3. i 4. zamieszczono zmiany procentowe modelowanych odpływów w poszczególnych scenariuszach w porównaniu z modelowanym odpływem w warunkach obecnego stanu zagospodarowania zlewni.

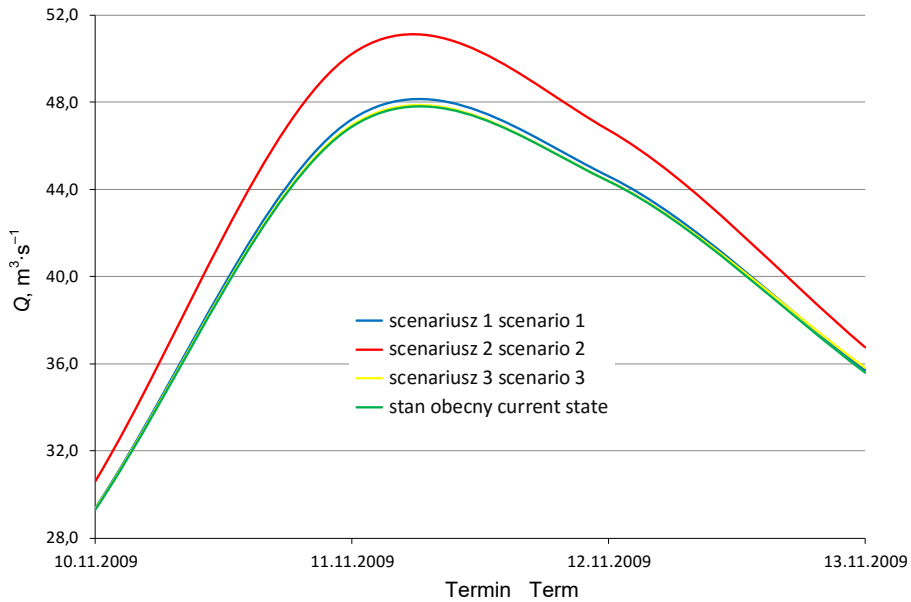
Wyniki analiz uzyskane za pomocą modelu J2000-S odpowiadają na pytanie „co – jeśli”, czyli – jaka będzie odpowiedź hydrologiczna zlewni w razie urzeczywistnienia rozpatrywanych scenariuszy zagospodarowania przestrzennego.

Obecnie obserwuje się zwiększenie zapotrzebowania na wydajne narzędzia pracy związane z zarządzaniem zasobami zlewniowymi [TWARDY i in. 2015a]. Dostarczają one efektywnych scenariuszy pomocnych w działaniach planistycznych z udziałem interesariuszy, łącząc aspekty naukowe z procesami decyzyjnymi i legislacyjnymi.



Rys. 2. Modelowane odpływy  $Q$  w jednym roku; źródło: wyniki własne

Fig. 2. Modeled runoff  $Q$  for a period of one year; source: own study



Rys. 3. Modelowane odpływy  $Q$  – przykładowy wysoki stan wód; źródło: wyniki własne

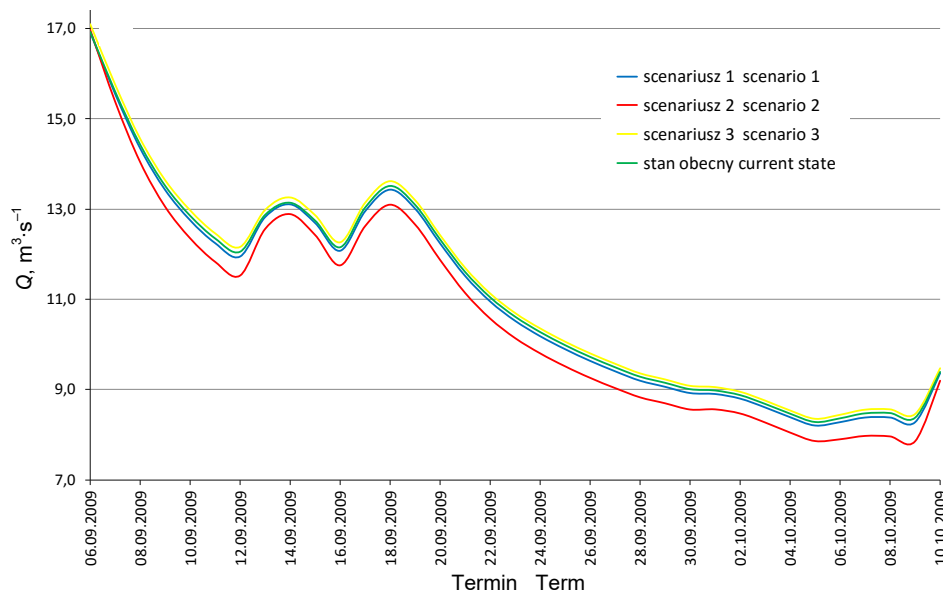
Fig. 3. Modeled runoff  $Q$  – example of high water state; source: own study

**Tabela 3.** Zmiany modelowanych odpływów  $Q$  (stan obecny i wg poszczególnych scenariuszy) w warunkach wysokiego stanu wód

**Table 3.** Changes of modeled runoff  $Q$  (current state and acc. to each scenario) under conditions of high water state

Data Date	Stan obecny Current conditions $Q$ $m^3 \cdot s^{-1}$	Scenariusz 1 Scenario 1		Scenariusz 2 Scenario 2		Scenariusz 3 Scenario 3	
		$Q$ $m^3 \cdot s^{-1}$	zmiana odpływu runoff change %	$Q$ $m^3 \cdot s^{-1}$	zmiana odpływu runoff change %	$Q$ $m^3 \cdot s^{-1}$	zmiana odpływu runoff change %
10.11.2009	29,27	29,37	0,3	30,60	4,5	29,34	0,2
11.11.2009	46,87	47,22	0,7	50,21	7,1	46,93	0,1
12.11.2009	44,37	44,61	0,5	46,73	5,3	44,38	0,0
13.11.2009	35,58	35,72	0,4	36,76	3,3	35,81	0,6

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.



Rys. 4. Modelowane odpływy  $Q$  – przykładowy niski stan wód; źródło: wyniki własne

Fig. 4. Modeled runoff  $Q$  – example of low water state; source: own study

Wyniki badań uzyskane w projekcie SaLMaR posłużą do decyzyjnego wsparcia działań planistycznych i zarządczych, zmierzających do zrównoważonego i trwałego kształtowania przestrzeni zlewniowych, zwłaszcza położonych powyżej przepływowanych zbiorników wodnych [TWARDY i in. 2015b].

Przedstawione wyniki obejmują jedynie niewielki wycinek badań prowadzonych w ramach opisywanego projektu.

**Tabela 4.** Zmiany modelowanych odpływów  $Q$  (stan obecny i wg rozpatrywanych scenariuszy) w warunkach niskiego stanu wód

**Table 4.** Changes of modeled runoff  $Q$  (current state and acc. to each scenario) under conditions of low water state

Data Date	Stan obecny Current conditions $Q$ $m^3 \cdot s^{-1}$	Scenariusz 1 Scenario 1		Scenariusz 2 Scenario 2		Scenariusz 3 Scenario 3	
		$Q$ $m^3 \cdot s^{-1}$	zmiana odpływu runoff change %	$Q$ $m^3 \cdot s^{-1}$	zmiana odpływu runoff change %	$Q$ $m^3 \cdot s^{-1}$	zmiana odpływu runoff change %
01.10.2009	8,99	8,90	-1,0	8,56	-4,8	9,05	0,7
02.10.2009	8,88	8,80	-0,9	8,47	-4,6	8,95	0,8
03.10.2009	8,69	8,60	-1,0	8,27	-4,8	8,75	0,7
04.10.2009	8,47	8,39	-0,9	8,05	-5,0	8,53	0,7
05.10.2009	8,29	8,20	-1,1	7,86	-5,2	8,35	0,7
06.10.2009	8,37	8,28	-1,1	7,90	-5,6	8,44	0,8
07.10.2009	8,48	8,38	-1,2	7,97	-6,0	8,55	0,8
08.10.2009	8,48	8,38	-1,2	7,96	-6,1	8,56	0,9
09.10.2009	8,38	8,28	-1,2	7,86	-6,2	8,46	1,0
10.10.2009	9,40	9,36	-0,4	9,20	-2,1	9,47	0,7

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

## WNIOSKI

1. Rezultaty uzyskane w wyniku modelowania scenariuszowego stanowią informację przydatną dla organów zarządzających zasobami wodnymi oraz odpowiedzialnych za planowanie przestrzenne w zlewni.

2. Preferencje lokalnych społeczności są zgodne z dotychczasową interdyscyplinarną wiedzą w zakresie zarządzania przestrzenią zlewniową. Znalazły one odzwierciedlenie w zintegrowanej liście wskaźników, w których uwzględniono informacje i opinie na temat podstawowych zagadnień związanych z ILWRM (ang. Integrated Land and Water Resources Management).

3. Opracowany zestaw wskaźników stanowi zaplecze informacyjne, które równocześnie wspiera prognozowanie i optymalizację wykorzystania terenu w kontekście zasobów wodnych zlewni.

4. Spośród rozpatrywanych wariantów zagospodarowania terenu zlewni scenariusz nr 2 odznacza się najbardziej ekstremalnymi parametrami odpowiedzi hydrologicznej dla wysokich i niskich stanów wód. Zakładano w nim zwiększenie powierzchni obszarów zabudowanych do maksymalnych zasięgów wskazanych w planach „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego”.

5. W zakresie wysokich stanów wód obserwuje się najniższy odpływ symulowany w warunkach aktualnego zagospodarowania obszaru badawczego. Odpowiedź hydrologiczna scenariusza nr 3 jest najbardziej zbliżona do stanu obecnego.

**BIBLIOGRAFIA**

- FINK M. 2014. J2K Documentation. JAMS version: 3.0\_b12 (20140919).
- FINK M., KRAUSE P., KRALISCH S., BENDE-MICHL U., FLÜGEL W.-A. 2007. Development and application of the modelling system J2000-S for the EU-Water Framework directive. *Advances in Geosciences*. Vol. 11 s. 123–130.
- FLÜGEL W.-A. 2010. Climate impact analysis for IWRM in Man-made landscapes: Applications for geoinformatics in Africa and Europe. *Initiativen zum Umweltschutz*. Vol. 79 s. 101–134.
- FLÜGEL W.-A. 2011. Twinning European and South Asian river basins to enhance capacity and implement adaptive integrated water resources management approaches – Results from the EC-project BRAHMATWINN. *Advances in Sciences and Research*. Vol. 7 s. 1–9.
- GWP 2009. A handbook for Integrated Water Resources Management in basins. Stockholm. ISBN 978-91-85321-72-8 ss. 104.
- JAMS niedatowane. Just Another Modelling System [online]. [Dostęp 02.07.2015]. Dostępny w Internecie: <http://jams.uni-jena.de/downloads/>
- KOPACZ M., TWARDY S. 2015. Charakterystyka glebowo-rolnicza regionu górnej Wisły w aspekcie niedoborów wodnych roślin uprawnych (z uwzględnieniem badań realizowanych w zlewni górnej Dunajca i Raby) [The agri-soil characteristics of the Upper Vistula river region in terms of water shortages for cultivated plants (including research carried out in basin areas of the upper Dunajec and Raba rivers)]. Falenty–Kraków. Wydaw. ITP. ISBN 978-83-62416-96-7 ss. 118.
- KRALISCH S., FLÜGEL W.-A., BÖHM B., FINK M., FISCHER C., KIPKA H., MATEJKA E., MICHEL C., REINHOLD M., ROICK O., SCHWARTZE C., VARGA D., VOGEL A., WETZEL M., ZANDER F. 2011. Generating an Integrated Landscape Management System (ILMS) for water management, local and regional planning. Final report [online]. [Dostęp 02.07.2015]. Jena, Germany. Bundesministerium für Bildung und Forschung ss. 50. Dostępny w Internecie: [http://ilms.uni-jena.de/downloads/ILMS\\_AB](http://ilms.uni-jena.de/downloads/ILMS_AB)
- KRALISCH S., KRAUSE P., FINK M., FISCHER C., FLÜGEL W.-A. 2007. Component based environmental modelling using the JAMS framework. W: *Proceedings of the MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation*. Red. D. Kulasiri, L. Oxley. Christchurch, New Zealand s. 812–818.
- MIODUSZEWSKI W. 2015. Protection of water quality in the lake situated on the agricultural area. *Journal of Water and Land Development*. No. 26 p. 65–71. DOI: 10.1515/jwld-2015-0017.
- MIODUSZEWSKI W., OKRUSZKO T. 2012. Protection of natural wetlands – the examples of conflicts. *Journal of Water and Land Development*. No. 16 p. 35–42. DOI: 10.2478/v10025-012-0022-z.
- PFENNIG B., KIPKA H., WOLF M., FINK M., KRAUSE P., FLÜGEL W.-A. 2009. Development of an extended spatially distributed routing scheme and its impact on process oriented hydrological modelling results. W: *New approaches to hydrological prediction in data-sparse regions. Proceedings of Symposium HS.2 at the Joint IAHS & IAH Convention*. Hyderabad, India. IAHS Publications. No. 333 s. 37–43.
- RADECKI-PAWLIK A., WAŁĘGA A., WOJKOWSKI J., PIJANOWSKI J. 2014. Runoff formation in terms of changes in land use – Mściwojów water reservoir area. *Journal of Water and Land Development*. No. 23 p. 3–10. DOI: 10.1515/jwld-2014-0024.
- SMEETS E., WETERINGS R. 1999. Environmental indicators: Typology and overview. Technical report. No. 25. Copenhagen. EEA ss. 19.
- SZYMCZAK T. 2005. Long-term trends in runoff from small lowland catchments. *Journal of Water and Land Development*. No. 9 p. 35–57.
- TWARDY S., KOPACZ M. 2010. Zrównoważony rozwój obszarów wiejskich. W: *Zrównoważona konsumpcja środowiska przyrodniczego. Opracowanie monograficzne* [Sustainable development of

- rural areas. In: Sustainable consumption of the natural environment]. Red. S. Twardy. Falenty–Kraków. Wydaw. ITP s. 96–112.
- TWARDY S., KOPACZ M. 2014. Zrównoważone użytkowanie ziem górskich – podstawą trwałego zachowania jakości środowiska przyrodniczego. Opracowanie monograficzne [Sustainable use of mountain lands – as the basis for permanent preservation of environmental quality]. Red. M. Kopicz. Falenty–Kraków. Wydaw. ITP. ISBN 978-83-62416-75-0 ss. 133.
- TWARDY S., KOPACZ M., KURNICKI R. 2013. Informacja o projekcie SaLMaR realizowanym w ramach polsko-niemieckiej współpracy naukowo-badawczej w zakresie zrównoważonego użytkowania zlewni zbiorników wodnych [Information on the SaLMaR project implemented within the framework of Polish-German research collaboration in the field of sustainable use of reservoir catchments]. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie. Nr 2 s. 92–93.
- TWARDY S., KOPACZ M., KURNICKI R. 2015a. Charakterystyka zlewni górnego Dunajca w aspekcie czynników środowiskowych determinujących zrównoważony i trwały rozwój [Characteristics of the upper Dunajec river basin in terms of environmental factors that determine the sustainable and lasting development]. Falenty–Kraków. Wydaw. ITP. ISBN 978-83-62416-97-4 ss. 129.
- TWARDY S., KOPACZ M., KURNICKI R., KOSTUCH M. 2015b. Podstawy zintegrowanego zarządzania rzek karpaccich z wielofunkcyjnymi zbiornikami wodnymi (w świetle wyników badań w projekcie SaLMaR) [Basics of integrated management of the Carpathian rivers with multifunctional water reservoirs (in the view of research results of the SaLMaR project)]. Falenty–Kraków. Wydaw. ITP. ISBN 978-83-62416-06-2 ss. 133.

*Robert KURNICKI, Marek KOSTUCH, Stanisław TWARDY*

## **SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF CARPATHIAN LAND USE BASED ON SIMULATION RESULTS**

**Key words:** *catchment management, catchment modeling, DPSIR (Driving forces, Pressures, States, Impacts, Responses), sustainable development*

### **S u m m a r y**

The model J2000-S, used for the study purposes, was obtained within the framework of Polish-German cooperation through the project SaLMaR (Sustainable Land and Water Management of Reservoir Catchments). Structural changes of upper Dunajec River basin were modeled based on three land use scenarios. The concept of scenarios is a consequence of analysis of stakeholders' opinions expressed in questionnaires constructed pursuant to DPSIR concept (Driving forces, Pressures, States, Impacts, Responses); it is also a result of analysis on the trends in spatial development. Assumptions related to planning documents at commune and district level were also taken into account. The model J2000-S was calibrated and validated under the close supervision of German authors. Its use allowed to conclude that factors determining the quantity and quality state of surface water of basin are – next to forests and grasslands – urban areas and related infrastructure conditions.

It was stated that the management of researched basin area is considered optimal at current level of economic development. The planned further expansion of urban areas will be disadvantageous, as it is revealed especially under extreme water level conditions. Hence, there should be reconsidered decisions applicable to emerging built-up areas, especially in regard to broadly defined hotel and tourist services.

**Adres do korespondencji:** dr inż. Robert Kurnicki, Małopolski Ośrodek Badawczy ITP w Krakowie, ul. Ułanów 21b, 31-450 Kraków; tel. + 48 12 412-52-08, e-mail: R.Kurnicki@itp.edu.pl