

SPRAWOZDANIE

Wyniki kalibracji ilościowej modelu SWAT zlewni rzeki Redy

Wykonawcy:

Paulina Orlińska

Joanna Wróbel

Paweł Wilk

1. Charakterystyka zlewni Redy

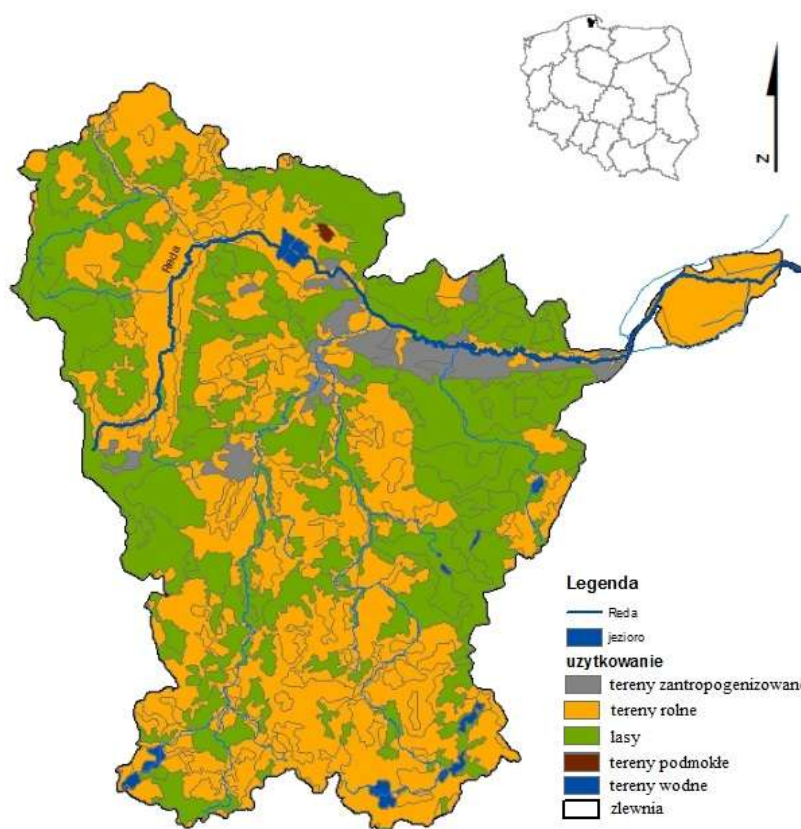
Powierzchnia dorzecza zlewni rzeki Redy obejmuje obszar około 485,55 km² (MHP) i znajduje się na terenie województwa pomorskiego. Długość cieków od źródła znajdującego się w Puszczy Wierchucińskiej w okolicach Strzebielina do ujścia w Zatoce Puckiej, pomiędzy Rewą a Osłoninem (na terenie Nadmorskiego Parku Krajobrazowego) do Morza Bałtyckiego wynosi 50,6 km (MHP).

Gleby doliny Redy i jej dopływów charakteryzują się znacznym spiaszczeniem terenu. Najczęściej występują tu piaski gliniaste zalegające w glinie oraz profile jednorodne w postaci piasków luźnych. W dolinach rzek występują gleby torfowe (do miejscowości Orle), a także gleby słabo-gliniaste i mady lekkie. Teren zlewni przeznaczony jest pod użytki rolne i zielone (w dolinach rzek).

Zlewnia położona jest na obszarze trzech mezoregionów geograficznych: Pradoliny Łeby - Redy (górny i środkowy bieg Redy), Pojezierza Kaszubskiego oraz Pobrzeża Kaszubskiego (dolny). Cechą charakterystyczną zlewni jest jej asymetryczne dorzecze, z dobrze rozwiniętym prawym dorzeczem. Ponadto, cechą szczególną dopływów Redy są ich względnie duże spadki, które są typowe dla rzek górskich. Jest to wynikiem występowania specyficznych warunków morfologicznych danego obszaru, na którym rzeki płyną przez odmienne jednostki o różnych wysokościach: pojezierza i pradoliny.

Jeziora w zlewni zlokalizowane są w źródłowych odcinkach dopływów Redy. Całkowita powierzchnia jezior wynosi około 3,187 km² (MPHP) (co stanowi 0,65%) powierzchni zlewni. W miejscowości Orle znajdują się sztuczne zbiorniki zaporowe (Nowe i Stare Orle), które powstały wskutek eksploatacji złóż związków wapnia.

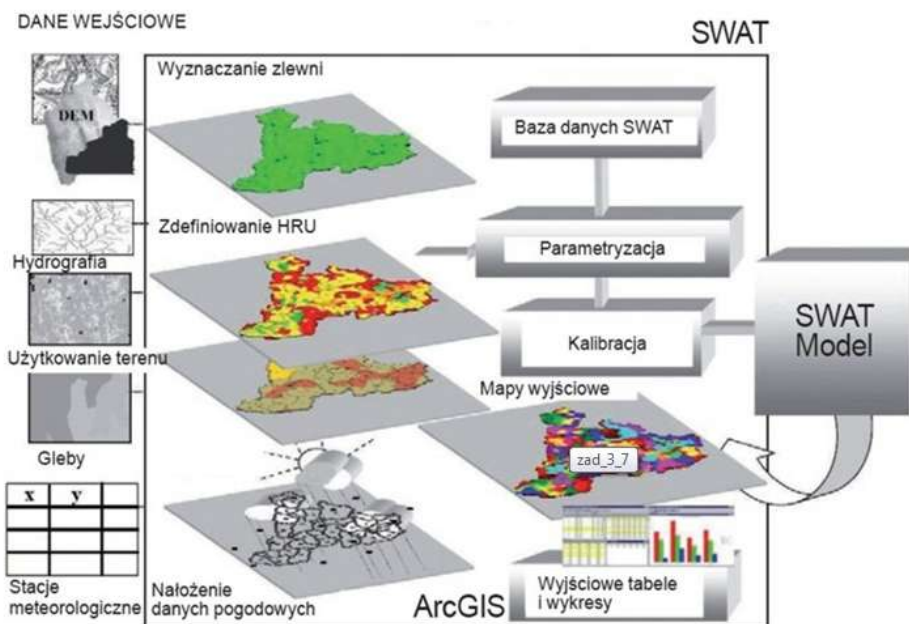
Zgodnie z danymi RZGW w Gdańsku na terenie omawianej zlewni występują cztery istotne z punktu widzenia modelowania punktowe zrzuty ścieków. Trzy z nich to komunalne oczyszczalnie ścieków (Oczyszczalnie Ścieków w Luzinie, Szemudzie i Pętkowicach), a jedna to oczyszczalnia przemysłowa gościńskiego fabryki mebli (Kloze). Zlewnia rzeki Redy (na podstawie MPHP) z na tle województw z wyszczególnieniem rodzaj użytkowania terenu została przedstawiona na rysunku 1.



Rys. 1. Zlewnia rzeki Redy (na podstawie MPHP) z na tle województw z wyszczególnieniem rodzaj użytkowania terenu [źródło: opracowanie własne]

2. Model SWAT

Model SWAT (Soil and Water Assessment Tool) to model o strukturze zlewniowej służący do przewidywania wpływu zmian w sposobie gospodarowania w zlewni na: bilans wodny, stopień erozji, zanieczyszczenie związkami azotu i fosforu, pestycydami, bakteriami, metalami ciężkimi. SWAT jest modelem fizycznym, obliczenia prowadzone są w kroku dziennym, miesięcznym bądź rocznym a modelowanie przebiega w sposób ciągły. SWAT może analizować zlewnie poprzez podział ich powierzchni na homogeniczne części. Model symuluje hydrologię, cykl obiegu pestycydów, składników odżywczych, erozję i transport osadów. Jest on modelem fizycznym, oznacza to, że opisuje związki pomiędzy parametrami wejścia i wyjścia za pomocą równań fizycznych, a nie regresyjnych. W jednym pakiecie modelowane są procesy zachodzące na obszarze zlewni i zachodzące w czasie transportu w rzece. Na rysunku 2 przedstawiono schemat działania narzędzia SWAT.



Rys. 2. Schemat działania modelu [8]

Po wykonaniu niezbędnych adaptacji i modyfikacji umożliwiających wprowadzanie zmian do projektu SWAT, wykorzystano projekt stworzony w ramach projektu Baltic COMPASS – Solutions for Agriculture and Environment (działanie: WP5; zadanie: Task1) opracowany przez zespół pracowników Zakładu Hydrologii i Zasobów Wodnych SGGW w Warszawie. Dodatkowo wprowadzono wielkości rzutów z oczyszczalni ścieków znajdujących się na terenie zlewni oraz odpowiednio zmodyfikowano parametry dotyczące bilansu wodnego zgodnie z warunkami polskimi.

3. Kalibracja

Kalibracja modelu SWAT pod względem ilościowym polegała na weryfikacji otrzymanych wyników uzyskanych z przeprowadzonej analizy dla wielolecia 1991-2010 z dziennym krokiem czasowym i analizie dopasowania wyników modelu dla przepływu do pomiarów monitoringowych otrzymanych z punktu pomiarowo-kontrolnego w Wejherowie w km 25+270 rzeki Redy.

Kalibrację prowadzono dwuetapowo - automatycznie i ekspercko. Procesy te jednak były poprzedzone wykorzystaniem dostępnych funkcji narzędzia SWAT i przeprowadzenie analizy wrażliwości modelu na zmiany wartości parametrów znacząco wpływających na

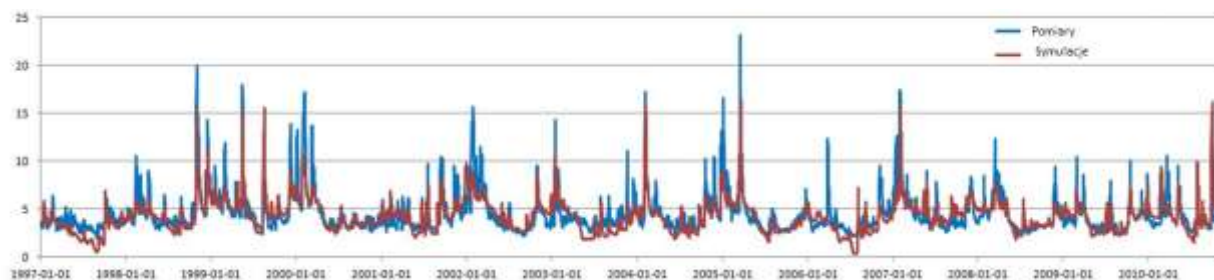
wielkość przepływu, w konsekwencji otrzymując zbiór 10 parametrów. Parametry te przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1 Wykaz parametrów uzyskanych z analizy wrażliwości

Lp.	Parametr	Opis
1	ESCO	współczynnik kompensacji ewaporacji glebowej
2	GWQMN	wartość progowa ilości wody w płytkim poziomie wodonośnym, powyżej, której pojawia się zasilanie cieków wodą gruntową [mm]
3	GW_REVAP	współczynnik podsiąku wód gruntowych
4	SOL_AWC	dostępna pojemność wodna warstwy glebowej [mm H ₂ O/mm gleby]
5	CANMAX	maksymalna pojemność roślinna
6	ALPHA_BF	stała recesji zasilania cieków wodą gruntową
7	SOL_Z	głębokość warstwy glebowej [mm]
8	CH_K2	przewodnictwo hydrauliczne podłoża koryta [mm/h]
9	REVAPMN	głębokość zalegania wody w płytkiej warstwie wodonośnej dla której występuje przesiąkanie lub perkolacja do głębszych warstw wodonośnych (mm)
10	SOL_ALB	albedo gleby wilgotnej

Kalibrację ilościową modelu przeprowadzono za pomocą programu Calibration and Uncertainty Programs (SWAT-CUP2). Narzędzie SWAT-CUP2 służy do parametryzacji modelu, określenia skalibrowania modelu zlewni i granic jego stosowania, uwarunkowania modelu wzorcowego czy problemów niepewności modelu.

W analizie, wyszczególnione powyżej parametry SWAT ocenione zostały za pomocą algorytmu SUFI-2. Algorytm ten definiuje niepewność jako różnicę pomiędzy zmiennymi mierzonymi (obserwowanymi) i symulowanymi (wygenerowanymi z modelu SWAT). SUFI-2 łączy kalibrację i analizę niepewności w celu znalezienia parametru niepewności który wpływa na prognozę większości danych pomiarowych jednocześnie dostarczając możliwie najmniejsze pasmo niepewności prognozy. Stąd te parametry niepewności odzwierciedlają wszystkie źródła niepewności. W SUFI-2, niepewność parametrów wejściowych przedstawiona jest jako równomierny rozkład, podczas gdy dane wyjściowe modelu jako oszacowana na 95% niepewność prognozy (95PPU). Skumulowany rozkład zmiennej wyjściowej uzyskuje się poprzez metodę Latin Hypercube Sampling (LHS) czyli tzw. oszczędną techniką próbkowania, która jest szczególnie efektywna przy ocenie niepewności dla programów symulacyjnych wielkiej skali. Metoda LHS w pełni odwzorowuje wielowymiarową nieokreśloność, redukując równocześnie znacznie liczbę koniecznych symulacji. Na rysunku 3 przedstawiono wykres wyników pomiarów i symulacji modelu SWAT dla wielolecia 1991-2010 z dziennym krokiem czasowym w punkcie pomiarowo-kontrolnym Wejherowo.



Rys. 3. Wyniki pomiarów i symulacji modelu SWAT dla okresu 1991-2010 w przekroju ujściowym rzeki Redy
[źródło: opracowanie własne]

Zgodność otrzymanych wyników weryfikowana była poprzez wykorzystanie współczynnika determinacji R^2 , będącego miarą dopasowanie wyników modelowania do obserwacji, zgodnie z kryteriami zgodności modelu hydrologicznego i hydraulicznego w oparciu o współczynnik determinacji zgodnie z klasyfikacją wg Sarma [2] (tabela 1).

Tab. 2. Kryterium miar zgodności modelu hydrologicznego i hydraulicznego w powiązaniu z wartościami współczynnika determinacji R^2

Kryterium modelu	Współczynnik determinacji R^2
model znakomity	$0,91 < R^2 \leq 1,00$
model bardzo dobry	$0,64 < R^2 \leq 0,91$
model dobry	$0,49 < R^2 \leq 0,64$
model dość dobry	$0,36 < R^2 \leq 0,49$
model niezadawalający	$0,00 < R^2 \leq 0,36$

Wielkość współczynnika determinacji R^2 dla kalibracji ilościowej wyniosła 0,67 Na podstawie powyższej klasyfikacji zgodność wyników kalibracji i danych pomiarowych określono jako bardzo dobry.

Kalibracja automatyczna była prowadzona na podstawie współczynnika determinacji ukazującego dopasowanie wartości modelowanych do rzeczywistych pomiarów. W analizie wykorzystano dodatkowe miary statystyczne w celu weryfikacji zgodności dopasowania wyników modelu do pomiarów. Drugi etap kalibracji prowadzono ręcznie – ekspercko biorąc pod uwagę trzy miary statystyczne dopasowania zbiorów danych.

Pierwszą dodatkową poza R^2 wykorzystaną statystyką był współczynnik efektywności modelu Nash-Sutcliffe (NS). Współczynnik ten wykorzystywany jest wykorzystywany do oceny odwzorowania zmienności przepływów przez model hydrologiczny. Wartość współczynnika NS może przyjmować wartości - ∞ do 1. Wartość 1 odpowiada idealnemu

dopasowaniu pomiarów do wyników symulacji. Wartości powyżej 0 uznawane są za satysfakcjonujące, poniżej 0 za niesatysfakcjonujące. Dla zlewni rzeki Redy otrzymane wartości współczynnika NS dla przepływów osiągnęły wielkość $E = 0,57$. Uznaje się, że jest to wynik bardzo dobry.

Trzecią analizowaną miarą statystyczną był współczynnik PBIAS określający tendencję estymacji zmiennych przez model określany jako obciążenie predykcji. Współczynnik ten określa procentowe przeszacowanie bądź niedoszacowanie wartości przez model. Wartości poniżej 0 określają przeszacowanie, a powyżej 0 niedoszacowanie modelu. Jest to miara szeroko stosowana do oceny błędów modelu i dokładnej oceny jego wyników. Dla modelowanej w SWAT rzeki Redy dla przepływów otrzymano wynik -5%. Model z tak niewielkim przeszacowaniem wyników uznaje się za znakomity.

Otrzymane wyniki współczynnika determinacji, współczynnika efektywności modelu oraz współczynnika obciążenia świadczą o bardzo dobrym dopasowaniu wyników modelowania do pomiarów.

Tab. 3. Kryteria miar zgodności modelu w powiązaniu z wartościami współczynnika determinacji, współczynnika efektywności modelu oraz współczynnika obciążenia.

Miara statystyczna	Wartość	Ocena modelu
R^2	0.67	bardzo dobry
NS	0.57	bardzo dobry
PBIAS	-5%	znakomity

4. Walidacja otrzymanych wyników

Walidacje modelu dokonano poprzez porównanie otrzymanych wyników modelowania do stanu rzeczywistego dla znanych parametrów i ciągów pomiarowych. Analiza raportów wygenerowanych dla analizowanego okresu z dziennym krokiem czasowym przez model pozwala stwierdzić że otrzymano wyniki zadowalające dla analizowanej rzeki. Świadectwem tego jest m.in. uzyskanie plonów roślin mieszczących się w granicach normy dla danego terenu. Poddano również weryfikacji otrzymane wartości elementów bilansu wodnego zarówno po stronie zysku i strat wody (m.in. ewapotranspiracja, spływy powierzchniowe, opad) a także parametry pośrednie jak nasłonecznienie. Analiza zgodności wyników dała zadowalające rezultaty świadczące o dobrym dopasowaniu otrzymanych wyników modelu z rzeczywistymi wartościami parametrów na tym terenie.

5. Literatura

- [1]. „Zasięg stref zagrożenia powodziowego dla przepływów maksymalnych o prawdopodobieństwie przewyższenia 1% i 10% na odcinku rzeki Redy od jeziora Orle do wodowskazu Wejherowo oraz rzeki Bolszewki na odcinku od wodowskazu Bolszewo do ujścia do Kanału Redy” PG, WILiŚ, Gdańsk 2008
- [2]. Sarma P.B.S., Delleur J.W., Rao A.R., (1973): Comparison of rainfall-runoff models for urban areas, *Journal of Hydrology*, Volume 18, Issues 3-4, Pages 329-347
- [3]. Srinivasan R., Soil and Water Assessment Tool, Introductory Manual – materiały szkoleniowe, Texas, 2011
- [4]. NEITSCH S.L., ARNOLD J., KINIRY R., SRINIVASAN R., WILLIAMS J.R., Soil and Water Assessments Tool Input/Output File Documentation, Blackland Research Center Texas Agricultural Experiment Station, 2004
- [5]. NEITSCH S.L., ARNOLD J., KINIRY R., WILLIAMS J.R., Soil and Water Assessments Tool Theoretical documentation Blackland Research Center Texas Agricultural Experiment Station, 2005
- [6]. WINCHELL M., SRINIVASAN R., DI LUZIO M. ARNOLD J., ArcSWAT 2.0 Interface for SWAT 2005, User’s Guide, Blackland Research Center Texas Agricultural Experiment Station, 2008.
- [7]. Mapa Podziału Hydrograficznego Polski
- [8]. www.geo.arc.nasa.gov/sge/casa/swat.html dostęp: 24.01.2012