

Jan Brzozowski

Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa
w Warszawie

PRZEGLĄD METOD MODELOWANIA PRESJI ROLNICTWA NA STAN WÓD POWIERZCHNIOWYCH

Streszczenie

W USA i Unii Europejskiej następuje wdrażanie prawodawstwa dotyczącego ochrony wód i narzędzi do jego stosowania. Jednak zarówno pod względem prawnym, metodologicznym, jak i przygotowania logistycznego występuje wiele różnic. W Unii określono koncentrację zanieczyszczeń wód azotem i fosforem, powyżej której należy podjąć działania naprawcze. W USA określono maksymalny dzienny ładunek zanieczyszczeń, powyżej którego należy rozpocząć działania. Ponadto ładunek ten może być różny w zależności od lokalizacji.

Słowa kluczowe: rolnictwo, presja, azot, fosfor, pestycydy, fortran

Wstęp

Prognozowanie od niepamiętnych czasów zajmowało ludzi. Poznanie przyszłości przed jej realizacją pozwoliłoby bowiem lepiej przygotować się do niej i zagrożeń, jakie ona niesie. Nowoczesnym odpowiednikiem wróżenia jest modelowanie matematyczne i symulacje. U jego podstaw leży przeświadczenie, że różne nasze działania i cykliczne działania sił natury powodują określone skutki w przyszłości. Modelowania używa się zwykle do prognozowania zjawisk, które są bardzo skomplikowane i zależą od bardzo wielu czynników.

Modele możemy sklasyfikować na: regresyjne, empiryczne i fizyczne [Langhammer 2002] Metody regresyjne polegają na znajdowaniu zależności pomiędzy parametrami za pomocą statystyki i wielu pomiarów bezpośrednich parametrów, wybranych mniej czy bardziej intuicyjnie. Pozostałe modele zakładają już wiedzę o procesach zachodzących podczas badanych zjawisk. Niemniej jednak dane pomiarowe są stosowane do kalibracji walidacji modelu. Dopiero po wielokrotnym sprawdzeniu modelu można przystąpić do symulacji, czyli uruchomienia modelu z parametrami, których spodziewamy się w przy-

szości lub stosując w modelu równania opisujące procesy, które chcemy zastosować. Przykładem może być zastosowanie wzdłuż cieku strefy buforowej o określonej procentowo efektywności przechwytywania azotu i uruchomienie modelu, aby poznać koncentrację azotu w tym cieku.

Projekt EUROHARP realizowany w ramach 5 PR miał za cel określenie przydatności obecnie używanych modeli do zastosowań w ramach wdrażania Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW).

Celem pracy jest analiza dostępnych modeli komputerowych, które mogą znaleźć zastosowanie we wdrażaniu RDW i wytypowanie odpowiednich dla warunków polskich. Analiza została oparta na klasyfikacji mocnych i słabych stron modeli.

Dobór parametrów modelu odpowiedniego do użycia w ramach prac wdrożeniowych RWD

Model powinien:

- Być niezależny od lokalizacji przestrzennej, aby ten sam model mógł być stosowany we wszystkich lokalizacjach będących terenami wrażliwymi lub wykazującymi tendencje do wzrostu koncentracji zanieczyszczeń w wodach powierzchniowych, podziemnych i przybrzeżnych morskich.
- Charakteryzować się dokładnością raczej w dłuższych okresach czasowych, ze względu na możliwość stosowania projekcji do końca roku 2015 r. to jest roku, w którym wszystkie wody na terenie Unii Europejskiej powinny zawierać stężenia zanieczyszczeń poniżej normatywnych.
- Mieć możliwość analizowania strategii naprawczych (np. w formie stosowania złóż filtracyjnych o określonej efektywności i szerokości, możliwość symulowania rezultatów nawadniania, zmiany użytkowania terenu oraz zmiany poziomu nawożenia). Jest to szczególnie ważne przy opracowywaniu strategii oczyszczania wód przy najmniejszych ograniczeniach produkcyjnych dla rolnictwa.
- Umożliwiać obliczanie udziału zanieczyszczeń obszarowych oraz uwzględniać zanieczyszczenia punktowe (municipalne, produkcyjne i inne).
- W celu zwiększenia dokładności symulacji polecana jest możliwość uwzględnienia depozycji gazowych (nawet w uśrednieniu rocznym) w modelu. Pozwoli to na lepsze odzwierciedlenie procesów rzeczywistych.
- Mieć możliwość funkcjonowania w zlewniach o różnej wielkości, od małych o powierzchni około 100 km² do wielkich o powierzchniach wielu tysięcy kilometrów kwadratowych. W szczególnych przypadkach w ramach wdrażania

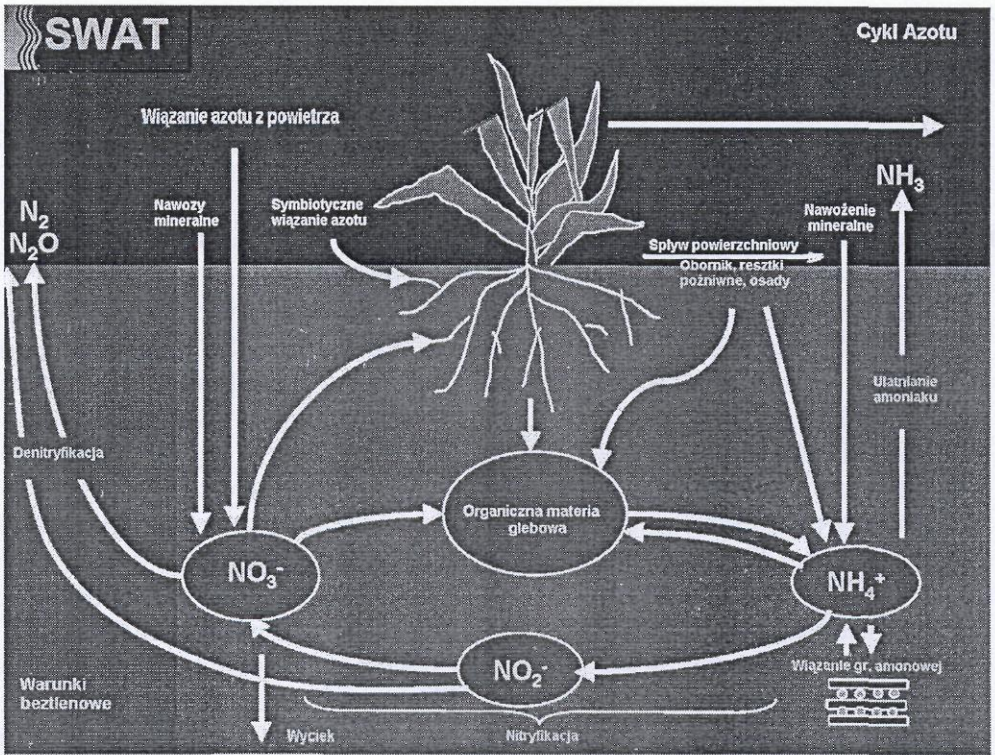
Ramowej Dyrektywy Wodnej mogłyby być używane modele stosowane do pojedynczego gospodarstwa lub nawet pola [Srinivasan 2004] jednak nie wydaje się to konieczne w szerszej skali.

- Mieć możliwość zasilania w potrzebne dane przez ręczną edycję plików oraz konwersje z innych formatów.

Omówienie obecnie używanych modeli

- Historia komputerowego modelowania procesów rolniczych, przynajmniej według [Srinivasan 2004] rozpoczyna się od modelu USLE, czyli modelu erozji, w 1960 r. Następnie pojawiają się kolejno modele CREAMS 1970 GLEAMS, EPIC, AGNPS, WEPP, SWRRB w latach 1980-1990, ANN, AGNPS i SWAT to początek lat dziewięćdziesiątych. Od tego momentu do teraz rozwijany jest SWAT. W latach dziewięćdziesiątych uwydatniła się tendencja do integrowania modeli obliczeniowych z Systemami Informacji Geograficznej (GIS). Dobrym przykładem może być SWAT, który rozwijany był równocześnie dla kilku Systemów Operacyjnych i dwu systemów GIS. W chwili obecnej SWAT może pracować na platformie typu UNIXS (Linuxs, FreeBSD i inne) z interfejsem GRASS [Srinivasan 2004] oraz na platformie Windows z interfejsem ARC/View. Innym przykładem jest program BASINS, który integruje wiele modeli, dostarcza dodatkowych narzędzi i dodatkowo pozwala na ściąganie z sieci wszystkich potrzebnych danych.
- Oprócz tych zmian można wyróżnić modele przeznaczone do obliczeń w skali pojedynczego pola EPIC, ALMANAC, gospodarstwa APEX oraz dla zlewni SWAT.
- Większość modeli i ich kody źródłowe były publikowane i są udostępniane na liberalnych licencjach. Modele są coraz bardziej skomplikowane i zawierają coraz więcej narzędzi oraz dokumentację liczącą nieraz setki stron. Ponadto elementy kodu źródłowego były przenoszone z jednych modeli do innych i jest to powszechna praktyka. Powstały grupy użytkowników, które rozwijają modele i dzielą się własnymi doświadczeniami.

Ogólnie można stwierdzić, że wszystkie modele oparte są na jednym lub kilku bilansach: energii, azotu (rys. 1), fosforu (rys. 2), wody (rys. 3), ewentualnie dodatkowo pestycydów. Dla lepszego zrozumienia procesów zachodzących w przyrodzie stworzono tak zwane cykle obiegu wody, azotu i fosforu. Symulowane zjawiska są oczywiście bardziej złożone, ale istotą modelu jest upraszczanie przemian oraz uwzględnianie tylko najbardziej istotnych. W większości modeli wykorzystuje się proste zasady zachowania masy (azotu, fosforu itp.), oraz zasady zachowania energii (topnienie lodu, parowanie, zamiana promieniowania słonecznego na biomasę).



Źródło: [Srinivasan 2004 tłumaczenie autora]

Rys. 1 Bilans azotu

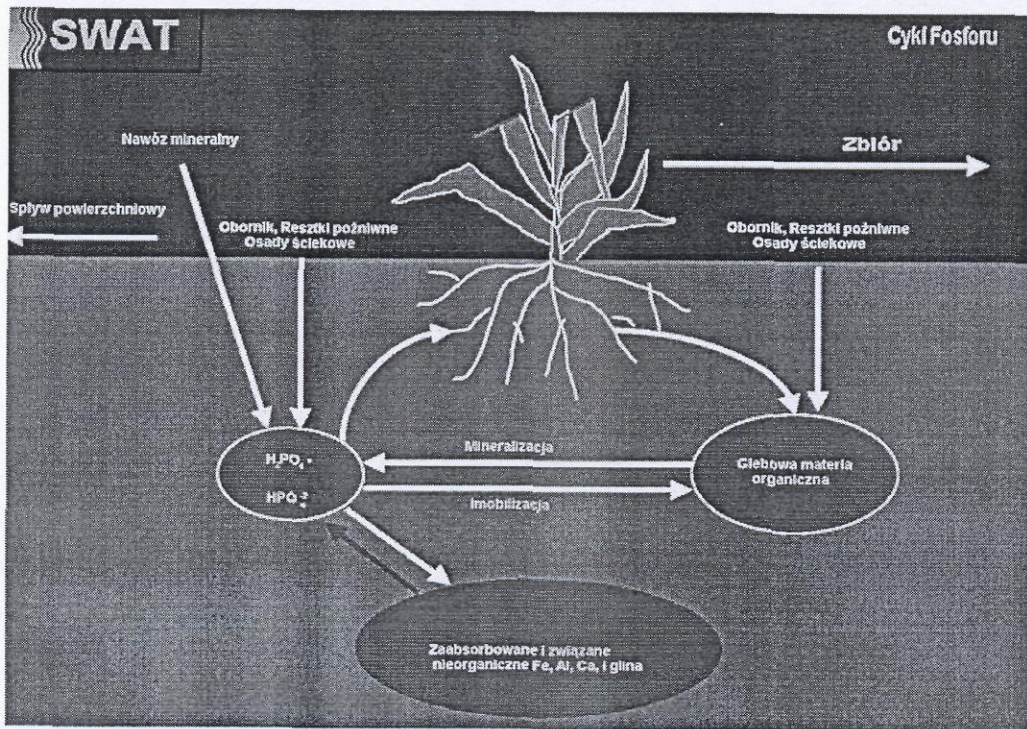
Fig. 1. Nitrogen balance

Problem zaczyna się komplikować, jeżeli chcemy określać koncentracje zanieczyszczeń w określonym miejscu i czasie. W przypadku migracji azotu i fosforu to woda jest medium transportowym, przemieszczającym rozpuszczone lub pozostające w zawieszynie substancje. Woda inaczej zachowuje się na powierzchni, inaczej pod ziemią, inaczej w środowisku glebowym nienasyconym, a inaczej w nasyconym.

Analiza czułości, niepewność, kalibracja

Na skutek zmienności przestrzennej wielu parametrów modeli, ograniczeniom budżetowym i niedostępności danych (z jakichkolwiek powodów), wszelkie wielkości parametrów wstawiane do modeli są jedynie szacunkami. Powoduje to niepewność co do wyników uzyskanych z modelowania. Jedne parametry mają większy wpływ na wyniki modelowania inne mniejsze [Lenhart 2002].

Dlatego też dla dokładności uzyskiwanych wyników ważna jest koncentracja na parametrach szczególnie oddziałujących na modelowane wielkości. Dla modelowania jakości wody i hydrologii największe znaczenie (poza dokładnością danych klimatycznych) mają parametry gleby, łącznie z pojemnością wodną, masą właściwą i przewodnością wodną. Ważne są również rodzaje uprawianych roślin, technika uprawy i sposób użytkowania terenu.



Źródło: [Srinivasan 2004 tłumaczenie autora]

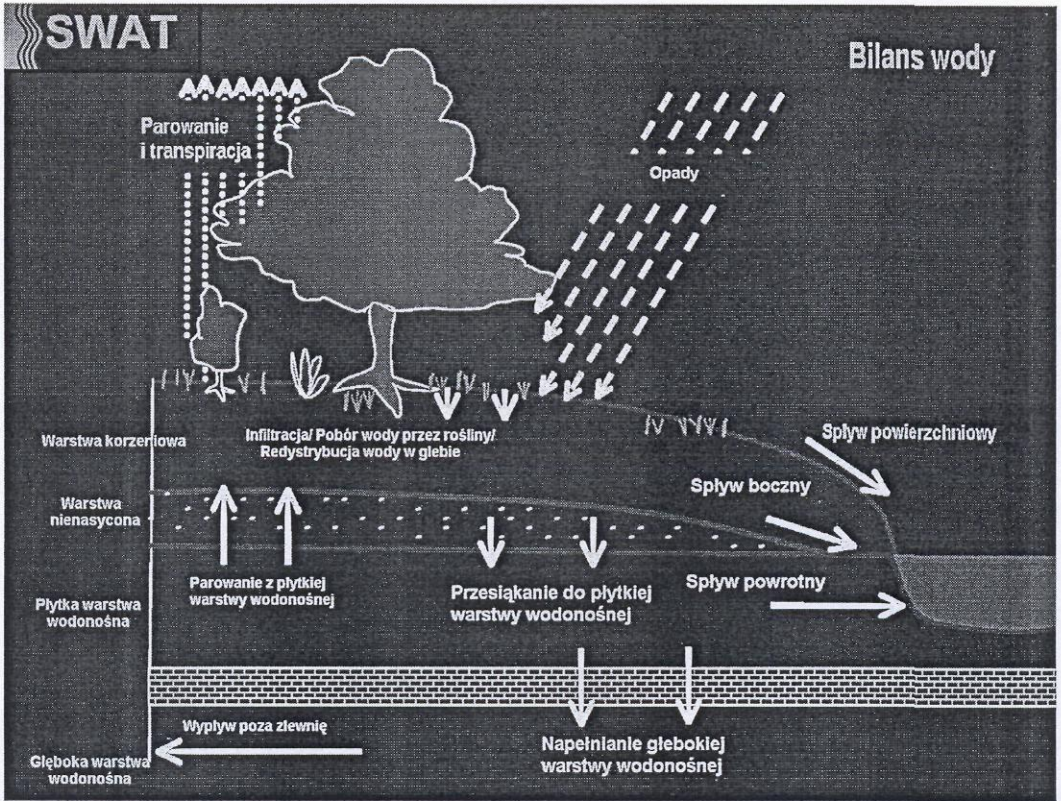
Rys. 2 Bilans fosforu

Fig. 2. Phosphorus balance

W rzeczywistości trzeba poszukiwać wielkości indeksu czułości za pomocą pochodnych cząstkowych, gdyż w realnym świecie występuje wiele parametrów mających wpływ na koncentracje zanieczyszczeń wody w ciekach.

Stwierdzenia i zalecenia

1. Projekt Euroharp, pomimo że bardzo potrzebny, został rozpoczęty zbyt późno i wiele na to wskazuje, że narzędzia przez niego stworzone nie będą mo-



Źródło: [Srinivasan 2004, tłumaczenie autora]

Rys. 3 Bilans wody

Fig. 3. Water balance

gły być wykorzystane w czasie wyznaczonym przez Ramową Dyrektywę Wodną.

2. Ponadto trzeba pamiętać, że pomimo ambitnego programu projektu EUROHARP jest on obecnie opóźniony, a dodatkowo przykład wersji SWAT 2003 uczy, że programy wymagają długiego czasu eksploatacji, aby można je uznać za narzędzia niezawodne. W 2005 r. SWAT po sprawdzeniach powrócił do wersji 2000 jako oficjalnej.
3. W przypadku modeli istnieje sprzężenie zwrotne pomiędzy ich jakością i upowszechnieniem. Im szersze upowszechnienia oraz im więcej grup biorących udział w jego tworzeniu, testowaniu i podsuwaniu pomysłów tym szybciej model się rozwija i wzrasta jego jakość. To te czynniki były powodem spektakularnego sukcesu Linuksa i systemów z rodziny BSD. Wydaje się również, że modele BASINS i SWAT potwierdzają tę regułę. Ponadto gdyby

się okazało, że podejście amerykańskie jest lepsze od europejskiego to oba te modele pozwalają na natychmiastowe obliczanie maksymalnych dziennych ładunków zanieczyszczeń. Po poszukiwaniach w Internecie oraz po kontaktach z twórcami modeli Krysanowa i in. 1999, autor uważa, że tylko modele BASINS i SWAT są dostępne do bezpośredniego ściągnięcia z sieci. Mają ponadto szerokie grupy wsparcia, bogatą literaturę i wspierające podręczniki również dostępne za darmo.

4. Podobnie wygląda tworzenie baz danych. O ile w USA z serwerów różnych organizacji można pobrać komplet danych potrzebnych do uruchomienia programu BASINS i wykonania symulacji na kilku programach wewnętrznych (między innymi SWAT i HPSF) to pomimo dużych postępów z upowszechnianiem przestrzennych baz danych przez instytucje unijne, dla Europy jest to nadal niemożliwe. Podsumowując, do wdrażania RDW najodpowiedniejsze w Polskich warunkach są modele SWAT i BASINS. Przemiawia za tym ich dojrzałość, obszerna literatura, grupy wsparcia, wielokrotna weryfikacja, światowy zasięg stosowania. Oprogramowanie to jest darmowe (Public Domain) i pracuje na popularnej platformie Windows, oraz używa do datkowo oprogramowania ARCView z niektórymi rozszerzeniami. ArcView jest oprogramowaniem popularnym w kraju i relatywnie tanim. Program SWAT może pracować również na platformie Unix/Linuks i używać darmowego oprogramowania GRASS GIS, ale wymaga to wysokich kwalifikacji informatycznych personelu lub stałej pomocy wykwalifikowanego informatyka. Do sprawnego zarządzania zlewniami konieczny jest również skoordynowany wysiłek w budowaniu baz danych przestrzennych obejmujących dane środowiskowe w połączeniu z danymi demograficznymi i infrastrukturalnymi. Do szerokiego upowszechnienia tego oprogramowania celowe byłoby przetłumaczenie (pełna lokalizacja) programów i ich dokumentacji jak również zastosowanie Interfejsów graficznych ułatwiających wprowadzanie danych i sprawdzanie ich kompletności. Alternatywą może być stosowanie internetowych baz danych pozwalających na import kompletu danych dla poszczególnych zlewni.

Bibliografia

Krysanova, V., Gerten, D., Klöcking, B., & Becker, A. 1999. Factors affecting nitrogen export from diffuse sources: a modelling study in the Elbe basin. In: L. Heathwaite (ed.) *Impact of Land-Use Change on Nutrient Loads from Diffuse Sources*, IAHS Publications no. 257: 201-212

Lenhart T., Eckhardt K., Fohrer N., Frede H.-G. 2002. Comparison of two different approaches of sensitivity analysis www.elsevier.com/locate/pce

Narula K. K., Bansal N. K. Gosain A. K. 2002. Hydrological sciences and recent advances: a review. TIDEE 1(1) 71-93

Srinivasan R. Huisman S. Breuer L. 2004. European SWAT Summer School Institute for Landscape Ecology Giessen

Langhammer J. 2002. Evaluation of non-point pollution sources using GIS

REVIEW OF METHODS OF MODELLING AGRICULTURAL PRESSURE ON SURFACE WATER CONDITION

Summary

Implementation of legal acts concerning water protection takes place simultaneously in USA and EU. However there is difference in methodology, availability of tools and databases and logistic. In EU it is defined maximum concentration of nitrogen and phosphorus. After exceeding maximum values a process of rehabilitation must be introduced. In USA daily maximum load of nutrients was defined. In addition the above load could vary depending on climatic conditions.

Key words: agriculture, pressure, nitrogen, phosphorus pesticides, fortran

Recenzent: Edmund Kaca