



Ocena możliwości zastosowania modelu AGNPS do szacowania ładunków azotu i fosforu wymywanych ze zlewni rolniczych

Mariusz Sojka

Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań

1. Wstęp

Aktualny stan wód w znacznym stopniu ogranicza możliwości jej wykorzystania na potrzeby zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia, przemysłu, turystyki i rekreacji. Główną przyczyną tej sytuacji jest wysoki ładunek zanieczyszczeń pochodzący ze źródeł rolniczych. Dlatego bardzo ważne jest zrozumienie wpływu sposobu użytkowania i zagospodarowania terenu na wielkość ładunków związków biogennych.

Coraz częściej do takiej oceny stosowane są modele hydrologiczne zintegrowane z systemami informacji przestrzennej GIS, które pozwalają na ocenę ładunków związków biogennych przy aktualnym lub prognozowanym stanie użytkowania i zagospodarowania oraz zużyciu nawozów sztucznych [4]. Modele hydrologiczne pracujące w środowisku GIS pozwalają na przyspieszenie, zautomatyzowanie i zwiększenie dokładności obliczeń ładunków zanieczyszczeń, ponieważ uwzględniają przestrzenną zmienność danych wejściowych oraz ich powiązanie z ukształtowaniem terenu. Jednak z praktycznego punktu widzenia modele takie w pierwszej kolejności powinny zostać poddane procesowi kalibracji i weryfikacji. Do tego celu niezbędne są najczęściej ciągłe pomiary opadów atmosferycznych, przepływów oraz stężeń zanieczyszczeń w wodach powierzchniowych. Dostęp do takich danych jest utrudniony lub wręcz niemożliwy.

2. Materiały i metody

Celem pracy była ocena możliwości zastosowania modelu hydrologicznego AGNPS pracującego w środowisku GIS do oceny ładunków zanieczyszczeń wymywanych ze zlewni. Analizę przeprowadzono na podstawie zlewni rzeki Małej Wełny do profilu Kiszkowo o powierzchni 342 km². W zlewni tej od roku 2000 prowadzone są przez pracowników Katedry Melioracji Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu kompleksowe badania i obserwacje terenowe gospodarki wodnej. Badania te obejmują: codzienne pomiary wielkości opadów atmosferycznych i stanów wody rzeki w profilu Kiszkowo, comiesięczne pomiary stanów wody i prędkości przepływu w sześciu profilach pomiarowo-kontrolnych zlokalizowanych wzdłuż biegu rzeki Małej Wełny. Próbkę wody z rzeki Małej Wełny pobierane są raz w miesiącu, w dniach poboru próbek wykonywane są pomiary hydrologiczne. Analizy laboratoryjne próbek wody obejmują, oznaczenia 20 wskaźników i składników charakteryzujących właściwości fizyczne, chemiczne, tlenowe oraz obecność biogenów.

Przeprowadzone dotychczas badania w zlewni rzeki Małej Wełny pozwoliły na obliczenie rocznych i półrocznych ładunków związków biogenych [8, 9]. W niniejszej pracy podjęto próbę wstępnej kalibracji i weryfikacji modelu hydrologicznego AGNPS do obliczania ładunków zanieczyszczeń wymywanych ze zlewni jako reakcji na opad o dużym natężeniu. Uzyskane podczas symulacji wielkości stężeń azotu i fosforu porównano z oznaczonymi wielkościami stężeń tych związków w wodach rzeki Małej Wełny.

3. Charakterystyka modelu AGNPS

Model hydrologiczny AGNPS (Agricultural Non-Point Source Pollution Model) został opracowany przez ARS-USDA (Agricultural Research Service – United State Department of Agriculture) [10]. Zastosowany model MWAGNPS (www.waterbase.org) pracuje w środowisku programu MapWindow GIS (www.mapwindow.org) i wykorzystywany jest do symulacji przepływów, transportu rumowiska oraz ładunków związków azotu i fosforu wymywanych ze zlewni, jako reakcji na opad o wysokim natężeniu. Model może być stosowany dla zlewni o powierzchni maksymalnej do 200 km². AGNPS jest modelem o parametrach

rozłożonych, w którym podczas symulacji zlewnia dzielona jest na kwadratowe pola jednostkowe o powierzchni od 0,4 do 16 ha. Dla zlewni o powierzchni powyżej 8 km² zaleca się podział na pola jednostkowe o bokach nie większych niż 400 m. Dla zlewni charakteryzującej się znacznym zróżnicowaniem warunków topograficznych, glebowych i sposobu użytkowania możliwy jest dalszy podział pól na 64 części, bez konieczności zmiany wielkości pól podstawowych. Model AGNPS, pozwala na obliczanie ładunków azotu i fosforu zaabsorbowanych na koloidach glebowych i rozpuszczonych w wodach odpowiednio według wzorów:

$$Nut_{sed} = Nut_f Q_s(x) E_r \quad (1)$$

$$Nut_{sol} = C_{nut} Nut_{ext} Q \quad (2)$$

gdzie:

Nut_{sed} – ładunek azotu (fosforu) zaadsorbowany na koloidzie glebowym (lb),

Nut_{sol} – ładunek azotu (fosforu) rozpuszczony w wodzie (lb),

Nut_f – zawartość związków azotu (fosforu) (lb·lb⁻¹),

$Q_s(x)$ – ilość wyerodowanego materiału (lb),

E_r – wskaźnik wzbogacenia (–),

C_{nut} – stężenie azotu (fosforu) w powierzchniowej warstwie gleby (lb·cft⁻¹),

Nut_{ext} – współczynnik rozpuszczania związków azotu (fosforu) w wodzie (–),

Q – objętość fali wezbraniowej (cft).

W celu przeprowadzenia symulacji dla każdego pola jednostkowego należy określić dwadzieścia dwa parametry (tabela 1).

Symulacja ładunków zanieczyszczeń prowadzona jest w etapach, na początek tworzona jest geobaza pól jednostkowych. W kolejnym etapie należy scharakteryzować: czas trwania, rozkład i wielkość opadu nawalnego, topografię terenu, warunki glebowe i rodzaj użytkowania. Następnie do modelu wprowadzane są wielkości dawek nawozowych, stosowanych na gruntach rolnych oraz charakterystyka sieci hydrograficznej. Obliczone stężenia oraz ładunki azotu i fosforu prezentowane są w formie tabelarycznej i graficznej w odniesieniu do pól jednostkowych.

Podstawowymi materiałami kartograficznymi wykorzystanymi w pracy, były: mapy topograficzne w skali 1:10 000, numeryczny model terenu (NMT) w postaci siatki trójkątów nieregularnych (TIN) – układ sekcyjny 1:10 000, ortofotomapy czarno białe w skali 1:13 000 oraz mapy glebowo-rolnicze w skali 1:25 000 udostępnione przez Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (WODGiK)

w Poznaniu. W pracy wykorzystano również rastrową Mapę podziału hydrograficznego Polski w skali 1:50 000. Uzyskane mapy w układzie sekcyjnym zostały połączone, a następnie odniesione do zasięgu zlewni przy pomocy programów ArcGIS 9.3.1. oraz MapWindow GIS.

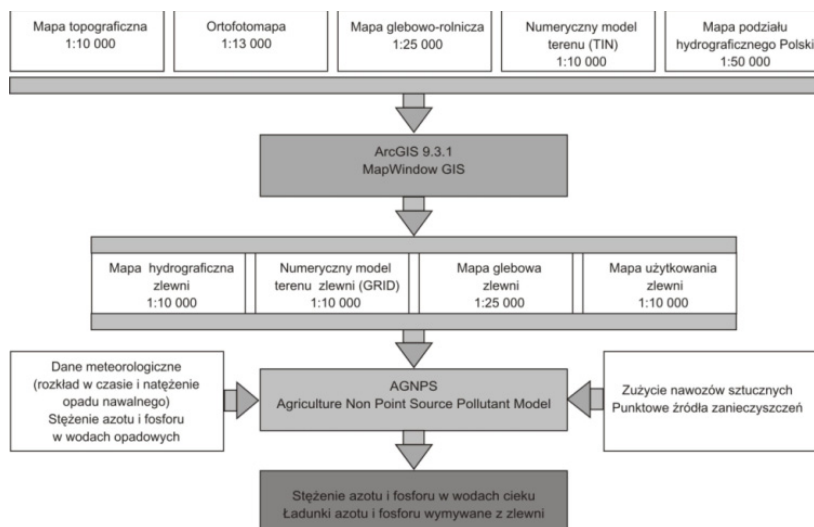
Tabela 1. Materiały wykorzystane do szacowania parametrów zlewni w modelu AGNPS

Table 1. The materials used during the simulation using the AGNPS model

Parametr	MHZ ¹	NMT ²	NMU ³	NMG ⁴	SD ⁵
Numer komórki	<input checked="" type="checkbox"/>				
Podział Komórki	<input checked="" type="checkbox"/>				
Numer komórki odbierającej		<input checked="" type="checkbox"/>			
Podział komórki odbierającej		<input checked="" type="checkbox"/>			
Kierunek odpływu		<input checked="" type="checkbox"/>			
CN wg metody SCS			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Spadek terenu		<input checked="" type="checkbox"/>			
Kształt zbocza		<input checked="" type="checkbox"/>			
Długość zbocza		<input checked="" type="checkbox"/>			
Współczynnik szorstkości Manning'a			<input checked="" type="checkbox"/>		
Współczynnik podatności gleb na erozję				<input checked="" type="checkbox"/>	
Współczynnik rodzaju upraw i sposobu użytkowania			<input checked="" type="checkbox"/>		
Współczynnik zabiegów przeciwerozyjnych		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Współczynnik rodzaju użytkowania terenu			<input checked="" type="checkbox"/>		
Tekstura gleby				<input checked="" type="checkbox"/>	
Poziom nawożenia			<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
Współczynnik dostępności nawozów			<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
Wskaźnik punktowych źródeł zanieczyszczeń			<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
Wskaźnik erozji wąwozowej					
Chemiczne zapotrzebowanie na tlen			<input checked="" type="checkbox"/>		
Wskaźnik upraw tarasowych			<input checked="" type="checkbox"/>		
Wskaźnik dróg spływu powierzchniowego	<input checked="" type="checkbox"/>				

1 – mapa hydrograficzna zlewni, 2 – numeryczny model terenu, 3 – mapa użytkowania zlewni, 4 – mapa glebowa zlewni, 5 – dane statystyczne (GUS, Urzędu Gminy Łubowo i WIOŚ)

Wielkość dawek nawozowych stosowanych w zlewni określono na podstawie danych statystycznych GUS, stężenia azotu i fosforu w opadzie atmosferycznym oraz odpływających z oczyszczalni ścieków określono na podstawie opublikowanych danych Wojewódzkiego Inspektora-tu Ochrony Środowiska w Poznaniu (WIOŚ) oraz Urzędu Miasta i Gminy w Łubowie. Schemat przepływu informacji w programie AGNPS przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat przebiegu symulacji w modelu AGNPS

Fig. 1. The scheme of the simulation process using the AGNPS model

Kalibrację i weryfikację modelu wykonano na podstawie własnych dobowych pomiarów opadów atmosferycznych w posterunku opadowym w Kiszkwie oraz stężeń azotu azotanowego i fosforanów oznaczonych w wodach rzeki Małej Wełny w profilu Owieczki. Oznaczone stężenia azotu mineralnego oraz fosforanów przeliczono na stężenia azotu i fosforu ogólnego na podstawie opracowanej zależności regresyjnej [9].

Wstępną ocenę przydatności modelu AGNPS do szacowania ładunków zanieczyszczeń wymywanych ze zlewni przeprowadzono przy wykorzystaniu powszechnie stosowanych miar statystycznych: współczynnika efektywności Nasha-Sutcliffe'a (NSEC) oraz współczynnika determinacji.

4. Wyniki i dyskusja

Zlewnia rzeki Małej Wełny do profilu Owieczki położona jest w środkowej części Niziny Wielkopolsko-Kujawskiej, w makroregionie – Pojezierze Wielkopolskie w mezoregionie – Pojezierze Gnieźnieńskie [6]. Powierzchnia zlewni wynosi 36,9 km². Punkt najwyższy położony znajduje się na wysokości 132,1 m n.p.m. a punkt najniższy położony na wysokości 104,5 m n.p.m., zatem deniwelacja terenu wynosi 27,6 m. Średnia wysokość zlewni to 118,3 m n.p.m. Od źródła położonego na wysokości 119 m n.p.m. do profilu zamykającego zlewnię położonego na wysokości 104,4 m n.p.m.

rzeka pokonuje 12,8 km, co daje spadek podłużny rzeki 1,14%. Średni spadek zlewni obliczony na podstawie numerycznego modelu terenu w postaci GRID o rozdzielczości 25 m wynosi 1,56%. Najwyższe spadki występują na zboczach doliny rzeki i wynoszą od 3 do 21%, natomiast najniższe na terenach położonych poza doliną rzeczną do 3%.

Analizowana zlewnia ma charakter typowo rolniczy, grunty orne stanowią ponad 80%, zaś pozostałe formy użytkowania terenu nie przekraczają wartości 5%. Zlewnia jest bardzo słabo zalesiona, lasy pokrywają tylko około 2%. Gleby wytworzone są głównie z piasków gliniastych zalegających na glinach, w dolinie rzecznej zalegają gleby murszowate.

Głównym źródłem biogenów są zanieczyszczenia obszarowe, które związane są z typowo rolniczym charakterem zlewni. Wielkość ładunków odpływających ze zlewni jest bezpośrednio związana ze stopniem zużycia nawozów sztucznych oraz koncentracją produkcji zwierzęcej. Zużycie nawozów na terenie gminy Łubowo założono jak dla Województwa Wielkopolskiego: NPK – 149,5 kg·ha⁻¹, w tym nawozów azotowych (N) – 87,2 kg·ha⁻¹, fosforowych (P₂O₅) – 27,2 kg·ha⁻¹ i potasowych (K₂O) – 34,6 kg·ha⁻¹.

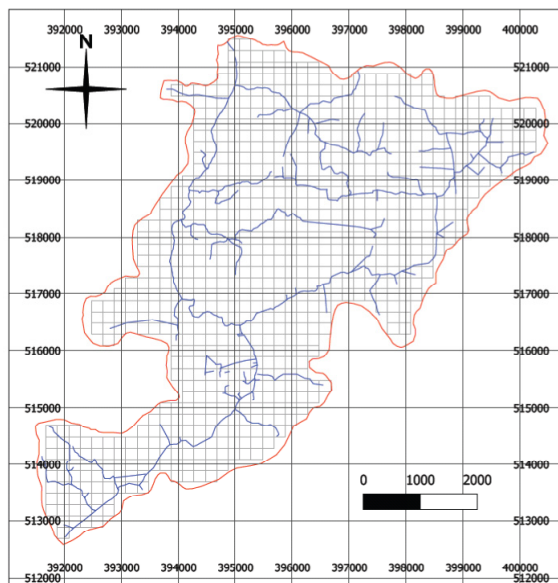
Średnia zawartość azotanów w całkowitym opadzie rocznym według WIOŚ w Poznaniu na terenie powiatu poznańskiego wynosiła w roku 2010 od 6,34 do 9,03 kg·ha⁻¹, przy rocznej sumie opadów 692 mm na stacji IMGW w Poznań-Ławica.

W pierwszym etapie pracy dokonano podziału zlewni na 833 pola jednostkowe, o powierzchni 4 ha (0,2 x 0,2 km) (Ryc. 2).

Następnie ustalono kierunki odpływu wody, które zweryfikowano na podstawie układu sieci hydrograficznej i ukształtowania terenu. W kolejnym etapie, na podstawie dostępnych materiałów kartograficznych tj.: numerycznego modelu terenu, map użytkowania i gleb, określono wartości ośmiu parametrów charakteryzujących: spadki terenu, długość i kształt zbocza, teksturę gleby oraz współczynniki: szorstkości, podatności gleb na erozję, rodzaju upraw i sposobu użytkowania.

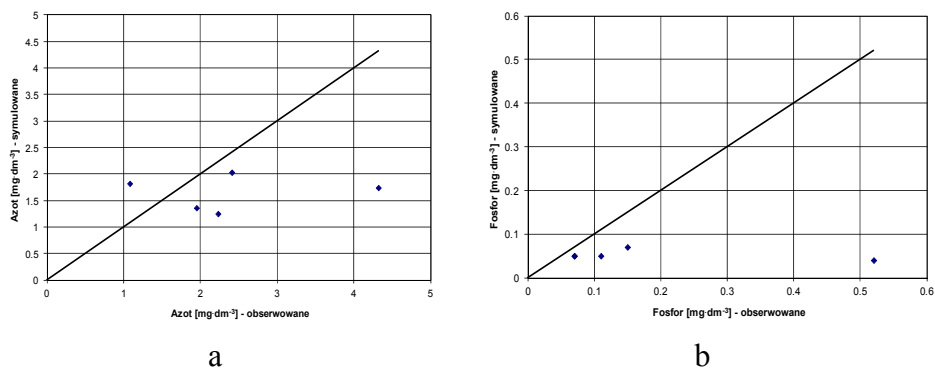
Następnie wprowadzono wielkości dawek nawozowych stosowanych na gruntach ornych. Batymetrię koryta rzeki Małej Wełny i jej dopływów scharakteryzowano na podstawie własnych pomiarów geodezyjnych przy pomocy trzech parametrów: szerokości koryta, spadków dna oraz nachylenia skarp. Kalibrację modelu przeprowadzono na podstawie współczynników rozkładu azotu i fosforu [1], które wprowadzono automatycznie dla każdego pola jednostkowego, w zależności od rodzaju użytkowania, spadków terenu i zdefiniowanej drogi odpływu. Na etapie kalibracji

przeprowadzono 50 symulacji, podczas których zmieniano wartości współczynników rozkładu azotu i fosforu o 1%. Symulacje przeprowadzono dla deszczu o wysokości 15 mm, założono czas trwania deszczu 30 min. Najlepsze dopasowanie uzyskano przy współczynnikach wyczerpania azotu 3% a fosforu 1%. Przy takim ustawieniu, wartości symulowanych stężeń wynosiły: azotu – $1,82 \text{ mg dm}^{-3}$, a fosforu – $0,12 \text{ mg dm}^{-3}$ i były wyższe od oznaczonych odpowiednio o 3 i 11%. W kolejnym etapie do weryfikacji modelu, wykorzystano wielkości pięciu dobowych opadów, pomierzonych na posterunku opadowym w Kiszkuwie, które wahały się od 7 do 36 mm. Analiza statystyczna uzyskanych na etapie weryfikacji wyników wykazała, że wartości współczynników efektywności modelu wynosiły w przypadku azotu i fosforu odpowiednio -1,48 oraz 0,09, co świadczy o braku zgodności wartości modelowanych z obserwowanymi (rys. 3). Potwierdziły to również wartości współczynników determinacji, które wynosiły odpowiednio 0,09 i 0,23 w przypadku azotu i fosforu, co wyklucza obecnie możliwość stosowania modelu AGNPS do szacowania ładunków zanieczyszczeń wymywanych ze zlewni.



Rys. 2. Podział zlewni rzeki Małej Wełny do profilu Owieczki na pola jednostkowe podczas symulacji, przy wykorzystaniu modelu AGNPS

Fig. 2. Division of the Mała Wełna River basin down to Owieczki cross-section in a unit grid cells during the simulation using the AGNPS model



Rys. 3. Porównanie wielkości stężeń azotu i fosforu pomierzonych w profilu Owieczki z rzeki Małej Welną ze stężeniami uzyskanymi z modelu AGNPS

Fig. 3. Comparison of nitrogen and phosphorus concentrations in the Mała Welná River at Owieczki cross-section with the concentrations obtained from the AGNPS model

Analizowany model był przedmiotem wielu wcześniejszych prac, które wykazały, że jest on bardzo wrażliwy na rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych w zlewni [2], a w mniejszym stopniu na zmienność struktury użytkowania i gleb [3].

Kolejnym parametrem decydującym o uzyskanych wynikach jest wielkość przyjętych do obliczeń pól jednostkowych, które mają wpływ na obliczanie spadków i długości drogi spływu powierzchniowego [7], które powiązane są z ilością wymywanych związków biogenych. Grunwald i Frede [4] na podstawie badań prowadzonych w Niemczech wykazali, że model AGNPS lepiej nadaje się do szacowania wielkości fal wezbraniowych i erozji, lecz nie może być stosowany do szacowania ładunków związków biogenych. Głównym powodem niedokładności szacowania ładunków azotu i fosforu wymywanych ze zlewni, jest brak szczegółowych danych odnośnie wielkości dawek nawozowych, terminów stosowania oraz czasowej zmienności w glebie powodowanej poborem przez rośliny, mineralizacją oraz przemieszczaniem w głąb profilu glebowego. Kolejnymi parametrami wymagającym analizy przy szacowaniu ładunków zanieczyszczeń wymywanych ze zlewni są niekontrolowane zrzuty ścieków i chów zwierząt gospodarskich oraz wpływ zbiorników wodnych na transport związków azotu i fosforu.

5. Wnioski

1. Wstępna kalibracja i weryfikacja modelu AGNPS pracującego w środowisku MapWindows GIS przeprowadzona na podstawie zlewni rolniczej Małej Wełny, w której grunty orne stanowią ponad 80% wykazała, że model ten nie może być obecnie stosowany do szacowania ładunków zanieczyszczeń wymywanych ze zlewni.
2. Uzyskane z pomiarów stężenia azotu i fosforu były z reguły niższe niż oczekiwane z modelu AGNPS.
3. Ostateczna kalibracja i weryfikacja modelu może być przeprowadzona na podstawie ciągłych pomiarów wielkości opadów atmosferycznych, natężenia przepływów oraz stężeń azotu i fosforu w wodach rzecznych.
4. Wyeliminowanie wpływu niepewności danych dotyczących zużycia nawozów w zlewni jest możliwe na podstawie ankiet przeprowadzonych wśród rolników na temat wielkości dawek nawozowych i terminów ich dawkowania.

Literatura

1. **Babel M.S., Najim M.M.M., Loof R.:** *Assessment of agricultural non-point source model for a watershed in tropical environment.* Journal of Environmental Engineering, Vol. 130, No. 9, 1032–1041 (2004).
2. **Di Luzio M., Lenzi M.A.:** *The importance of proper inputs for applicability of the AGNPS model integrated with geographic information system at watershed scale.* Proc. Int. Symp. An Water Quality Modeling, ASAE, Orlando. 1995.
3. **Fisher P., Abrahart R.J., Herbinger W.:** *The sensitivity of two distributed non-point source pollution models to the spatial arrangement of the landscape.* Hydrolog. Process. 11(3), 241–252 (1997).
4. **Grunwald S., Frede H.G.:** *Application of modified AGNPS in German watersheds.* Application of physically based soil erosion models, ed. Schmidt, J. New York, Berlin, Springer, 43–58 (2000).
5. **He C.:** *Integration of geographic information systems and simulation model for watershed management.* Environmental Modelling & Software 18, 809–813 (2003).
6. **Kondracki J.:** *Geografia regionalna Polski.* Wyd. Nauk. PWN, Warszawa. 2002.
7. **Mankin K.R., Bhuyan S.J., Koelliker J.K.:** *Effects of cell size an AGNPS inputs and predictions.* Jauranal of Environmental Hydrology, Vol. 12, pap. 22, 1–12 (2004).

8. **Sojka M., Murat-Błażejewska S., Kanclerz J.:** *Wymywanie związków azotu i fosforu ze zlewni rolniczej w zróżnicowanych okresach hydrometeorologicznych.* Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 526, 443–450 (2008).
9. **Sojka M.:** *Ocena ładunków związków biogenych wymywanych ze zlewni cieku Dębina.* Rocznik Ochrona Środowiska, Tom 11, 1225–1234 (2009).
10. **Young R.A., Onstad C.A., Bosch D.D., Anderson W.P.:** *Agricultural non-point source pollution model. AGNPS, User's Guide,* Minnesota Pollution Agency. 1994.

Preliminary Assessment of the AGNPS Model Applicability for Estimation of Nitrogen and Phosphorus Loads from Agriculture Catchments

Abstract

The aim of the paper is to assess the possibility of AGNPS model application to simulate pollutants loads leaching from the catchment. The evaluation was based on the Mala Welna River catchment down to Owieczki cross-section with an area of 36.9 km². About 80% of the land within the catchment is under agricultural activities. AGNPS model (Agricultural Non-Point Source Pollution Model) was developed by ARS-USDA (Agricultural Research Service - United State Department of Agriculture). AGNPS is an event-based model that simulates surface runoff, sediment, nitrogen and phosphorus transport from agricultural watersheds. (MW)AGNPS is integrated with MapWindow, an Open Source GIS which runs under the Windows operating system.

The materials used in these study were topographic maps on a scale of 1:10 000, digital elevation model (DEM - TIN) at the scale 1:10000, and soil maps on a scale 1:25 000.

The AGNPS model was calibrated and validated for the study area on the basis of daily measurements of precipitation at the Kiszkwio and concentrations of nitrate and phosphate in the Mala Welna River at Owieczki corss-section.

Preliminary calibration and verification of AGNPS model showed that the model cannot currently be used to estimate the nitrogen and phosphorus loads leaching from the catchment. The final model calibration and verification can be carried out on the basis of continuous measurements of precipitation, discharges and concentrations of nitrogen and phosphorus in river.

The main reason of uncertainties in estimating the loads of nitrogen and phosphorus leaching from the catchment is the lack of detailed data on fertilizer rates and terms of use them. Other parameters that require analysis were uncontrolled point sources of pollutants and trough flow lakes that affect the transport.