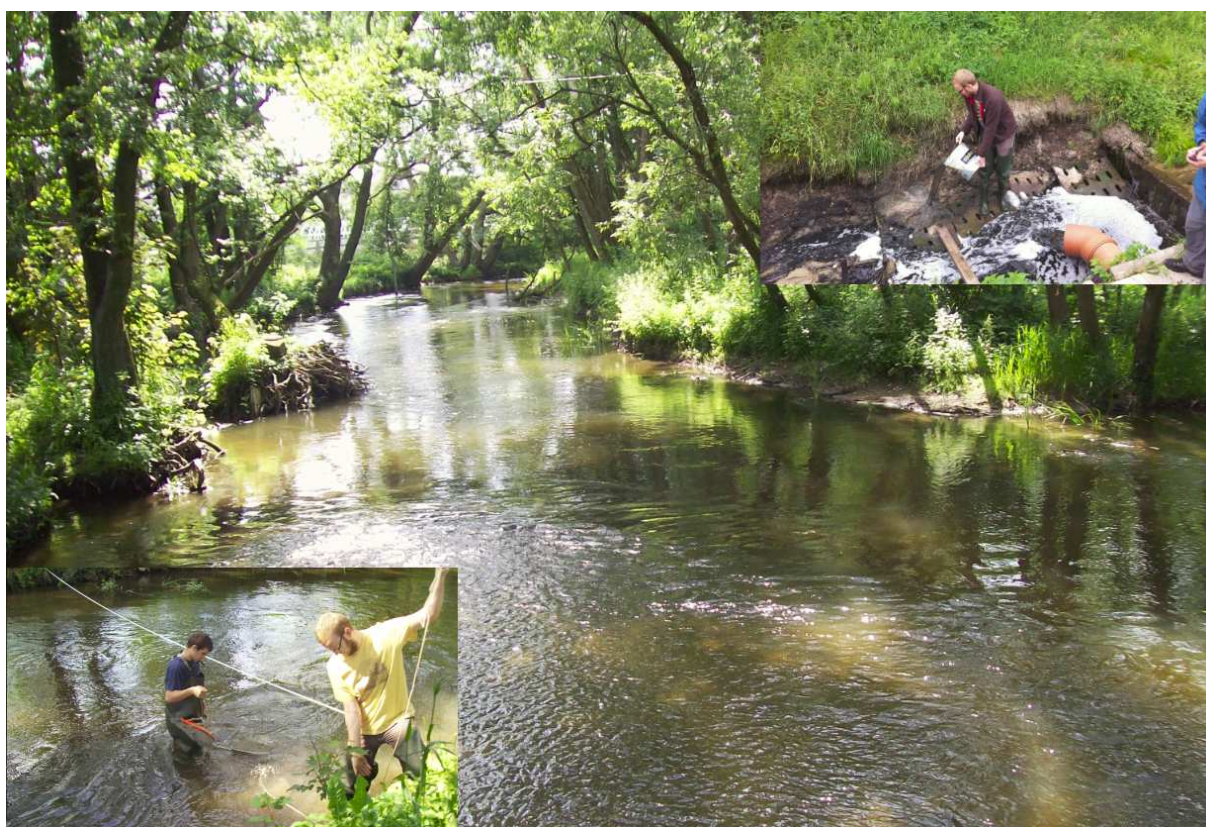


Opracowano w ramach projektu Baltic COMPASS -Solutions for Agriculture and Environment (działanie: WP5; zadanie: Task1)

Opracowanie struktury modelu szacowania zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego, odpływających do Morza Bałtyckiego ze zlewni rzeki Redy

Dokumentacja modelu SWAT



Zamawiający pracę: **Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy Oddział Morski w Gdyni**

Praca wykonana w ramach projektu: **Baltic COMPASS – Solutions for Agriculture and Environment (działanie: WP5; zadanie: Task1)**

Opracowanie wykonane przez zespół pracowników **Zakładu Hydrologii i Zasobów Wodnych SGGW w Warszawie** w składzie:

dr hab. Tomasz Okruszko, prof. SGGW – kierownik zespołu
dr Marek Giełczewski
dr inż. Ignacy Kardel
mgr Mikołaj Piniewski
mgr inż. Mateusz Stelmaszczyk

Niniejsze opracowanie oraz zawartość znajdującą się na załączonej płycie CD zostały wykonane w ramach realizacji umowy o dzieło pt.

Opracowanie struktury modelu szacowania ładunku zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego, odpływającego do Morza Bałtyckiego ze zlewni rzeki Redy,

składającej się z następujących części:

- Podział zlewni Redy na zlewnie cząstkowe w oparciu o Numeryczny Model Terenu, lokalizację punktów monitoringu jakościowego i ilościowego oraz lokalizację punktów zrzutów ścieków, poboru wód i obiektów piętrzących – realizacja: *M. Giełczewski*;
- Rekasyfikacja mapy pokrycia terenu (użytkowania ziemi) i aktualizacja bazy danych pokrycia terenu i wzrostu roślin (CORINE Land Cover/Plant Growth Database) – realizacja: *M. Stelmaszczyk*;
- Opracowanie bazy danych gleb użytkowania (User Soil Database) i rekasyfikacja mapy glebowej w oparciu o mapę glebową, zakupioną przez IMGW PIB z zasobów IUNG, oraz wartości parametrów fizycznych gleb – realizacja: *I. Kardel*;
- Wyznaczenie podziału zlewni cząstkowych na jednostki „Hydrologic Response Units”, na podstawie mapy pokrycia terenu, mapy glebowej i mapy spadków terenu oraz danych statystycznych struktury zasiewów – realizacja: *M. Piniewski*;
- Identyfikacja i parametryzacja praktyk rolniczych stosowanych dla głównych upraw w zlewni Redy – realizacja: *T. Okruszko*.

Niniejsze opracowanie stanowi załącznik do płyty CD z katalogiem plików stanowiącym projekt opracowanego modelu SWAT dla obszaru zlewni Redy. Zawiera dokumentację kolejnych kroków wykonanych w celu stworzenia struktury modelu, opis zawartości płyty CD oraz instrukcję uruchamiania modelu.

Spis treści

1	Opis zawartości płyty CD	6
2	Instrukcja uruchamiania modelu.....	6
3	Dokumentacja opracowanej struktury modelu	6
	Krok 1. Podział na zlewnie cząstkowe (M. Giełczewski)	7
	Krok 2. Reklasyfikacja mapy pokrycia terenu (M. Stelmaszczyk)	10
	Krok 3. Opracowanie bazy danych gleb użytkownika (User Soil Database) i reklasyfikacja mapy glebowej (I. Kardel).....	13
	Krok 4. Wyznaczenie podziału zlewni cząstkowych na jednostki HRU (M. Piniewski).....	16
	Krok 5. Przygotowanie wejściowych danych meteorologicznych (M. Piniewski)	18
	Krok 6. Uzupełnienie brakujących wartości i uaktualnienie domyślnych wartości wybranych parametrów modelu (T. Okruszko, M. Piniewski, I. Kardel)	20
	A. Punktowe zrzuty ścieków	20
	B. Parametry zbiorników (<i>Reservoirs</i>)	21
	C. Parametry cieków	23
	D. Parametry zlewni cząstkowych.....	23
	E. Parametry wód podziemnych	23
	F. Parametry rowów melioracyjnych.....	24
	G. Parametry praktyk rolniczych	24
4	Literatura.....	30

Spis rysunków

Rys. 1	NMT i warstwa sieci rzecznej	8
Rys. 2	Podział zlewni Redy na zlewnie cząstkowe wg SWAT (numeracja 1-30) i MPHP.	9
Rys. 3	Mapa pokrycia terenu/użytkowania ziemi wprowadzona do modelu SWAT.....	12
Rys. 4	Struktura użytkowania ziemi wg mapy wprowadzonej do modelu SWAT.	13
Rys. 5	Mapa glebowa wprowadzona do modelu SWAT.....	15
Rys. 6	Struktura gleb wg mapy wprowadzonej do modelu SWAT.....	16
Rys. 7	Mapa spadków z podziałem na 3 klasy.	17
Rys. 8	Lokalizacja posterunków IMGW z danymi meteorologicznymi wymaganymi przez model SWAT.....	19
Rys. 9	Zrzuty ścieków uwzględnione w modelu SWAT.....	21
Rys. 10	Jeziora o powierzchni powyżej 25 ha w zlewni Redy.....	22
Rys. 11	Zlewnia Redy na tle jednostek podziału administracyjnego.	25
Rys. 12	Zlewnie cząstkowe na tle 4 wybranych gmin.....	26
Rys. 13	Struktura zasiewów w czterech wybranych gminach (po generalizacji roślin uprawnych; kody jak w Tabeli 7 oprócz klasy FALL – głównie grunty odłogowane i trawy polowe).....	28
Rys. 14	Struktura użytkowania użytków zielonych w czterech wybranych gminach.....	29

Spis tabel

Tab. 1 Klasy obiektów ze zbioru warstw ArcHydro	10
Tab. 2 Rastry z geobazy <i>RasterStore.mdb</i>	10
Tab. 3 Generalizacja klas pokrycia terenu mapy CLC2006.....	11
Tab. 4 Klasy mapy glebowej wprowadzonej do modelu SWAT.....	14
Tab. 5 Zestawienie wybranych punktowych zrzutów ścieków.....	20
Tab. 6 Przyporządkowanie pomiędzy zlewniami cząstkowymi SWAT i wybranymi gminami.	25
Tab. 7 Rośliny uprawne uwzględnione w modelu SWAT.....	27

1 Opis zawartości płyty CD

Na płycie CD wgrane są następujące katalogi i pliki:

- katalog *redaswat3*
- plik z bazą danych *swat2009.mdb*
- plik wykonywalny *swat2009.exe* (revision 481)
- plik z wersją PDF niniejszego dokumentu *redaswat_dokumentacja_sggw.pdf*

Aby móc poprawnie wczytać projekt SWAT za pomocą interfejsu ArcSWAT (konieczny jest interfejs w wersji 2009.93.7) należy:

- skopiować cały katalog *redaswat3* do pożądanej lokalizacji na dysku twardym komputera docelowego (np. *C:\redaswat3*),
- zastąpić bazę danych *swat2009.mdb* znajdującą się w miejscu instalacji ArcSWAT na dysku twardym komputera docelowego (najczęściej *C:\Swat\ArcSWAT\Databases*) analogiczną bazą z płyty CD;
- zastąpić plik wykonywalny *swat2009.exe* znajdujący się w miejscu instalacji ArcSWAT na dysku twardym komputera docelowego (najczęściej *C:\Swat\ArcSWAT*) analogicznym plikiem z płyty CD. Ten krok będzie konieczny, w przypadku gdy w ścieżce instalacji ArcSWATa znajduje się inna wersja pliku wykonywalnego od tej z płyty CD; w innym przypadku można go pominąć.

2 Instrukcja uruchamiania modelu

Projekt SWAT został stworzony przy użyciu interfejsu ArcSWAT 2009.93.7. Model można uruchomić na jeden z 3 następujących sposobów:

1. Za pomocą interfejsu ArcSWAT 2009.93.7 (wymagany ArcGIS 9.3 SP1)
2. Za pomocą darmowego programu SWATeditor 2009.93.7
3. Za pomocą pliku wykonywalnego *swat2009.exe* (po skopiowaniu go do podkatalogu *redaswat3\Scenarios\Default\Txtinout*).

Pierwsze dwa sposoby pozwalają również na zarządzanie i edycję parametrów w modelu, trzeci sposób pozwala jedynie na wygenerowanie plików wynikowych.

3 Dokumentacja opracowanej struktury modelu

W ramach działań zmierzających do opracowania struktury modelu SWAT dla zlewni Redy wygenerowane zostały dwie geobazy typu *Personal Geodatabase* znajdujące się katalogu *redaswat3*:

- *redaswat3.mdb* – główna geobaza projektu, zawierająca przede wszystkim tabele z wartościami parametrów modelu oraz klasy obiektów charakteryzujące dane przestrzenne tj. zlewnie cząstkowe (*subbasins*) i odcinki cieków (*reaches*)
- *RasterStore.mdb* – geobaza pomocnicza przechowująca zbiory rastrowe wykorzystane w Kroku 1.

Istotne dla użytkownika elementy obu geobaz są opisane poniżej, zgodnie z chronologią działań zmierzających do opracowania struktury modelu. Wykorzystane dane przestrzenne posiadają układ odniesienia WGS 1984.

W niniejszej dokumentacji ograniczono się do opisu kolejnych kroków wykonanych w celu zbudowania struktury modelu SWAT dla zlewni Redy. Wyjaśnienia szczegółów związanych z modelowaniem w SWAT znajdują się w trzech źródłach udostępnianych na stronie internetowej modelu (<http://swatmodel.tamu.edu/documentation>):

1. dokumentacja teoretyczna (Neitsch et al. 2005);
2. dokumentacja techniczna (Neitsch et al. 2010);
3. przewodnik użytkownika interfejsu ArcSWAT (Winchell et al. 2009); w praktyce funkcjonuje jako pomoc do ArcSWAT.

Krok 1. Podział na zlewnie cząstkowe (M. Giełczewski)

Pierwszym krokiem tworzenia struktury modelu SWAT dla zlewni Redy było wyznaczenie działu wodnego zlewni i podziału na zlewnie cząstkowe (*Watershed delineation*). W tym celu wykorzystano następujące dane udostępnione przez Zleceniodawcę:

- Numeryczny Model Terenu (NMT) w formacie ESRI GRID obejmujący cały obszar zlewni (źródło: WODGiK - Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Gdańsku)
- Mapa wododziału Redy wycięta z warstwy wektorowej *zlewnie.shp* (źródło: MPHP – mapa cyfrowa nowego Podziału Hydrograficznego Polski udostępniana przez IMGW w Warszawie)
- Mapa sieci rzecznej zlewni Redy wycięta z warstwy wektorowej *rzeki_r.shp* (źródło: MPHP)

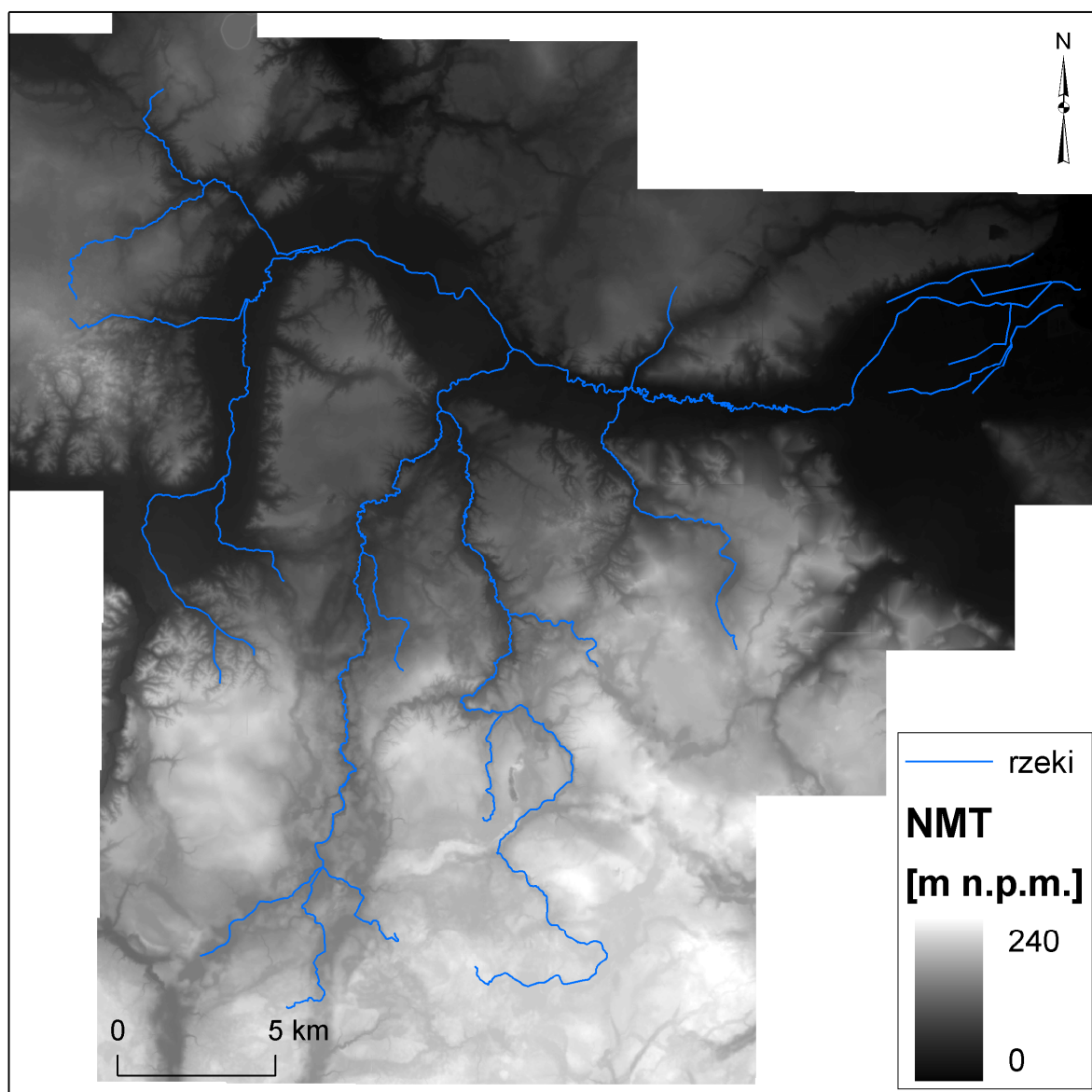
NMT udostępniony przez WODGiK składał się z 47 osobnych arkuszy powstałych z map w skali 1:10 000. Zastosowano funkcję *Mosaic* programu ArcGIS aby wygenerować jednolity NMT (Rys. 1).

Mapa wododziału została wykorzystana tylko i wyłącznie w celu wygenerowania rastrowej „maski” obszaru badań. Zastosowano w tym celu bufor o szerokości 500 m wokół granic wododziału.

Mapa sieci rzecznej została wykorzystana w celu zastosowania funkcji *Burn-in streams* w menu *Watershed delineation*. Funkcja ta wykonuje nacięcie NMT przez warstwę sieci rzecznej, co umożliwia wygenerowanie przez model odcinków cieków w sposób bardziej zbliżony do rzeczywistego ich przebiegu. Aby model prawidłowo odtworzył topologię sieci rzecznej, przeprowadzono wcześniej edycję warstwy obejmującą przede wszystkim usunięcie odcinków o charakterze sztucznym (Rys. 1).

Wykonując podział na zlewnie cząstkowe wykorzystano opcję *DEM-based stream definition*.

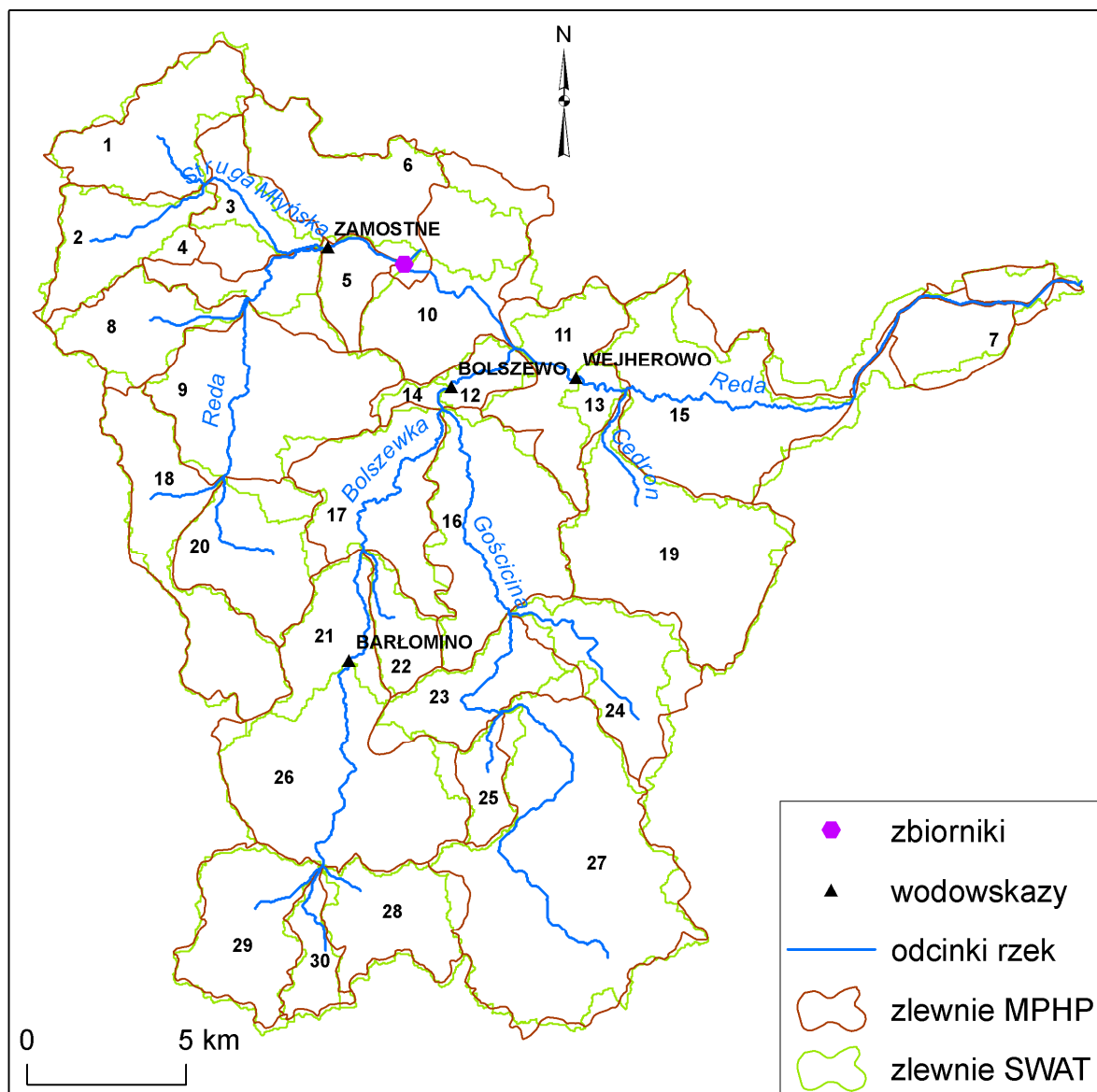
Dla utworzenia w modelu zlewni odpowiadających MPHP przeprowadzono czynności polegające na utworzeniu pliku korygującego *.dbf* z lokalizacją profili zamykających zlewnie cząstkowe (*Outlets*) wg. MPHP. Wyjątek stanowiły dwie zlewnie wyszczególnione w MPHP, a pominięte w modelu: Polder Mrzezino i Polder Rekowo. Są to niewielkie (w skali zlewni), w całości zmeliorowane obszary i dokładność NMT nie pozwala na prawidłowe odtworzenie ich granic.



Rys. 1 NMT i warstwa sieci rzecznej

Dodatkowo, oprócz profili zamykających zlewnie częściowe bazujących na MPHP, dodano również profile zamykające odpowiadające lokalizacji wodowskazów IMGW: Wejherowo na Redzie oraz Bolszewo i Bałomino na Bolszewce (Rys. 2). Czwarty z wodowskazów IMGW, Zamostne na Redzie, znajduje się zaledwie ok. 250 m od ujścia Strugi Młyńskiej (Kostkowo) do Redy, zatem tworzenie osobnej zlewni częściowej dla tego wodowskazu uznano za niecelowe.

Ostatecznym efektem działania *Watershed delineation* był podział na 30 zlewni częściowych przedstawiony na Rysunku 2 na tle 31 zlewni częściowych wg MPHP. Powierzchnia zlewni Redy wg MPHP wynosi 485 km^2 , a wg SWAT 483 km^2 . Na Rysunku 2 widać, że na przeważającej długości wododziału, jego granice zostały odtworzone przez model SWAT poprawnie (przy założeniu, że podział wg MPHP jest poprawnym punktem odniesienia). W kilku miejscach (np. w części wododziału na północny-wschód od Zamostnego) można zaobserwować ucięcie fragmentu zlewni przez SWAT, co jest uwarunkowane dokładnością NMT.



Rys. 2 Podział zlewni Redy na zlewnie cząstkowe wg SWAT (numeracja 1-30) i MPHP.

Podobnie jak granice wododziału, również granice poszczególnych zlewni cząstkowych w przeważającej liczbie przypadków są dostatecznie zgodne z granicami MPHP. Różnice w powierzchni odpowiadających sobie zlewni cząstkowych wyznaczonych z obu źródeł wynoszą w większości przypadków jedynie kilka procent.

Ponadto, na etapie tworzenia zlewni cząstkowych, zastosowano funkcję automatycznie dodającą punktowe zrzuty ścieków w każdej z modelowanych zlewni. Funkcję tę zastosowano dla zwiększenia adaptacyjności struktury modelu do wyników badań terenowych. „Najczęściej bowiem w początkowej fazie tworzenia struktury modelu nie są znane lokalizacje wszystkich istotnych zrzutów. Jeśli w rzeczywistości brak jest punkowego zrzutu ścieków w danej zlewni cząstkowej to dla takiego zrzutu zostawia się wartości domyślne wydatku i ładunków równe zero. Dodano również jeden zbiornik (*Reservoir*), odpowiadający lokalizacji jeziora Orle, do zlewni nr 5 (Rys. 2). Pozostałe, nieliczne i stosunkowo niewielkie jeziora uwzględniono w modelu w inny sposób, za pomocą funkcji *Pond* (patrz Krok 7).

W ścieżce *redaswat3\Watershed\text\Toporep.txt* znajduje się wygenerowany przez SWAT raport z zakresu topografii całej zlewni i zlewni cząstkowych. Zawiera on statystyki i rozkłady wysokości n.p.m. w poszczególnych zlewniach cząstkowych. Wg niniejszego raportu wysokości n.p.m. całej zlewni charakteryzują się następującymi parametrami: średnia = 107 m, minimum = 0 m, maksimum = 234 m i odchylenie standardowe = 57 m.

W geobazie projektu *redaswat3.mdb* w zbiorze warstw ArcHydro znajdują się wygenerowane przez model klasy obiektów (Tab. 1).

Tab. 1 Klasy obiektów ze zbioru warstw ArcHydro

L.p.	Nazwa	Typ	Opis
1	Basin	Polygon	Wododział
2	Watershed	Polygon	Zlewnie cząstkowe
3	Reach	Line	Odcinki cieków
4	LongestPath	Line	Najdłuższe odcinki spływu w zlewniach cząstkowych
5	MonitoringPoint	Point	Zawiera m.in. punkty zrzutu, punkty zamykające zlewnie cząstkowe i zbiorniki
6	Outlet	Point	Punkty zamykające zlewnie cząstkowe

Z kolei w geobazie *RasterStore.mdb* znajdują się wszystkie wykorzystane lub wygenerowane w procesie *Watershed delineation* zbiory rastrowe (Tab. 2).

Tab. 2 Rastry z geobazy *RasterStore.mdb*

L.p.	Nazwa	Opis
1	ClipDEM	NMT przycięty do granic zlewni
2	DigitStream	Sieć cieków do funkcji <i>Burn-in streams</i> po konwersji do rastra
3	FillDEM	NMT po zastosowaniu funkcji <i>Fill</i>
4	FlowAcc	Raster przedstawiający skumulowaną wielkość spływu powierzchniowego
5	FlowDir	Raster przedstawiający kierunki wielkość spływu powierzchniowego
6	Mask	Maska – raster obejmujący obszar analiz
7	Slope	Spadki terenu
8	SourceDEM	NMT źródłowy
9	StreamLink	Wygenerowany raster sieci cieków
10	TargetDEM	NMT przycięty do granic maski
11	Watershed	Rastrowa wersja mapy zlewni cząstkowych

Krok 2. Reklasyfikacja mapy pokrycia terenu (M. Stelmaszczyk)

Jako podstawowe źródło danych o pokryciu terenu wykorzystano mapę *Corine Land Cover 2006* (CLC2006) udostępnianą przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ). Wadą tej mapy, z punktu widzenia modelowania w SWAT, są zbyt mało szczegółowe wydzielenia z zakresu

rolniczego użytkowania ziemi, dlatego też jako uzupełniające źródło danych w rekლasyfikacji rolniczych klas pokrycia terenu wykorzystano mapę kompleksów glebowo-rolniczych udostępnioną przez Instytut Upraw, Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) w Puławach.

Z uwagi na fakt, że mapa pokrycia/użytkowania terenu stanowiąca wejście do modelu SWAT może zawierać tylko te klasy, które znajdują się w tabeli *Crop* bazy danych *SWAT2009.mdb*, niezbędna jest rekლasyfikacja mapy źródłowej. Rekლasyfikacja jest tu rozumiana jako łączenie grup użytków w większe klasy bądź dzielenie na mniejsze i przyporządkowywanie ich do kategorii bazy *SWAT2009*.

W pierwszym etapie rekლasyfikacji zgeneralizowano klasy CLC2006 poziom 3 wg schematu z Tabeli 3.

Tab. 3 Generalizacja klas pokrycia terenu mapy CLC2006.

Kod źródłowy	Opis	Kod SWAT	Opis
111	Zabudowa miejska zwarta	URML*	Residential Med./Low Density
121	Tereny przemysłowe lub handlowe		
112	Zabudowa miejska luźna	URLD*	Residential Low Density
131	Miejsca eksploatacji odkrywkowej		
142	Tereny sportowe i wypoczynkowe		
211	Grunty orne poza zasięgiem urządzeń nawadniających	UR**	Użytki rolne
231	Łąki, pastwiska		
242	Złożone systemy upraw i działek		
243	Tereny zajęte głównie przez rolnictwo z dużym udziałem roślinności naturalnej		
311	Lasy liściaste	FRSE*	Lasy igłaste
312	Lasy igłaste		
313	Lasy mieszane		
512	Zbiorniki wodne	WATR*	Wody powierzchniowe

* kod z bazy *SWAT2009.mdb*

** kod przejściowy

W drugim etapie rekლasyfikacji zastosowano narzędzie *Union* programu ArcMap w stosunku do dwóch warstw: zgeneralizowanej mapy CLC2006 oraz mapy kompleksów glebowo-rolniczych. W zlewni Redy na gruntach ornych występują następujące kompleksy glebowo-rolnicze: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Kompleksy 3 i 8 zajmują znikomą powierzchnię, więc włączono je, odpowiednio, do kompleksów 2 i 9. Z kolei na użytkach zielonych występują dwa kompleksy: 2z i 3z. Poza tym występuje kompleks N (nieużytki).

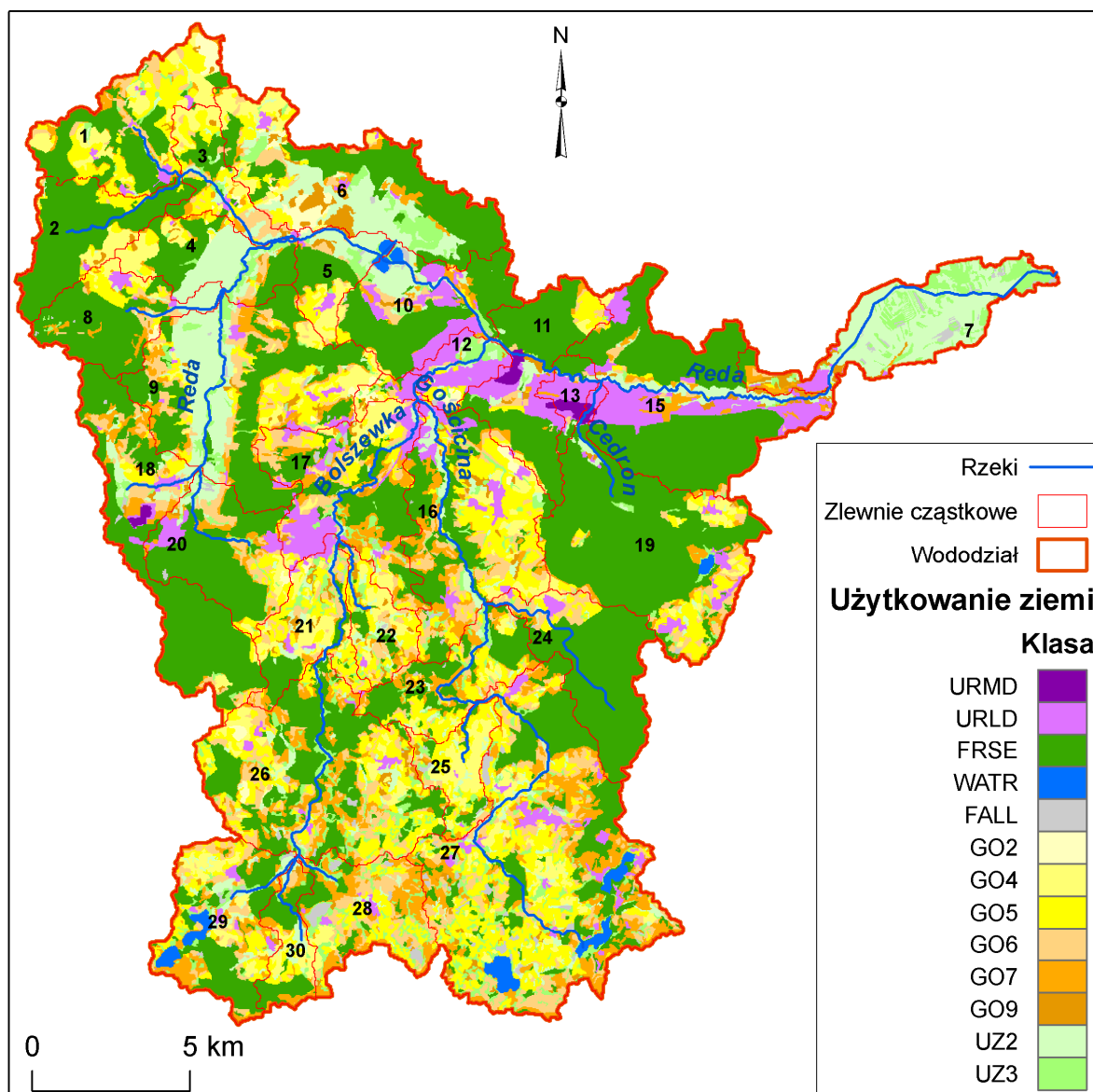
Efektom przestrzennego rozbicia klasy Użytki rolne (UR) z Tabeli 3 na bardziej szczegółowe klasy są następujące klasy:

GO2 – kompleks 2 (pszenny dobry) na gruntach ornych

GO4 – kompleks 4 (żytni bardzo dobry) na gruntach ornych

GO5 – kompleks 4 (żytni dobry) na gruntach ornych

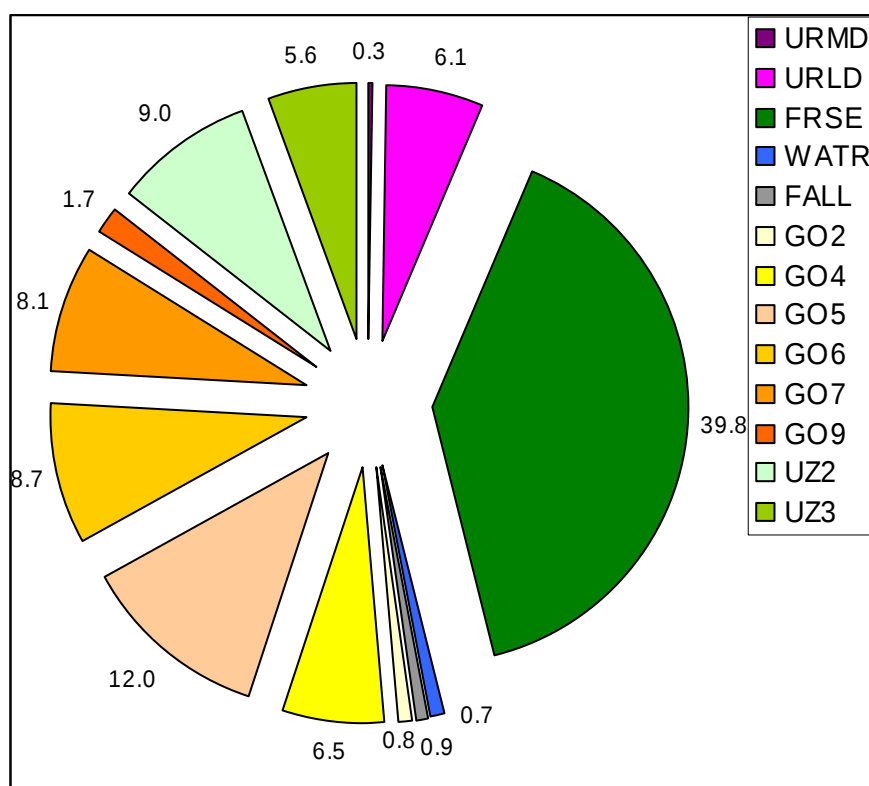
GO6 – kompleks 4 (żytni słaby) na gruntach ornych
 GO7 – kompleks 4 (żytni bardzo słaby) na gruntach ornych
 GO9 – kompleks 9 (zbożowo-pastewny słaby) na gruntach ornych
 UZ2 – kompleks 2z (użytki zielone średnie)
 UZ3 – kompleks 3z (użytki zielone słabe)
 FALL – kompleks N (nieużytki)



Rys. 3 Mapa pokrycia terenu/użytkowania ziemi wprowadzona do modelu SWAT.

Podane powyżej kody zostały wprowadzone do tabeli *Crop* bazy *SWAT2009.mdb*. Rysunek 3 przedstawia ostateczną wersję mapy pokrycia terenu, która została wprowadzona do modelu, natomiast Rysunek 4 przedstawia strukturę użytkowania wg tejże mapy. Wynika z niej, że dominującym typem pokrycia terenu są lasy (39.8%). Grunty orne zajmują łącznie 37.7%, a użytki zielone 14.5%. Bardziej szczegółowe dane dotyczące udziału poszczególnych klas w zlewniach częściowych znajdują się w wygenerowanym przez model raporcie umieszczonym w ścieżce

redaswat3\Watershed\text\LandUseSoilsReport.txt. Rastrowa mapa pokrycia terenu wprowadzona do modelu znajduje się natomiast w ścieżce *redaswat3\Watershed\Grid\LandUse1*.



Rys. 4 Struktura użytkowania ziemi wg mapy wprowadzonej do modelu SWAT.

Krok 3. Opracowanie bazy danych gleb użytkownika (User Soil Database) i reklasyfikacja mapy glebowej (I. Kardel)

Podobnie jak w przypadku mapy pokrycia terenu, wydzielenia występujące w mapie glebowej stanowiącej dane wejściowe modelu SWAT muszą znajdować się w odpowiedniej tabeli bazy *SWAT2009.mdb* (tabeli *UserSoil*). W odróżnieniu jednak od mapy pokrycia terenu, rekordy tabeli *UserSoil* użytkownik musi wprowadzić samodzielnie, gdyż istniejące rekordy opisują jedynie gleby sklasyfikowane według amerykańskich klasyfikacji. Wprowadzenie rekordów do tabeli *UserSoil* musi zostać poprzedzone analizą dostępnych danych glebowych.

W niniejszym opracowaniu podstawowym źródłem danych o glebach zlewni Redy była numeryczna mapa glebowa uzyskana z IUNG. Zawierała ona następujące atrybuty charakteryzujące gleby zlewni:

- kompleks przydatności rolniczej
- typ gleby
- skład mechaniczny maksymalnie pięciu warstw gleby (gatunek gleby).

Pierwszy z powyższych atrybutów został wykorzystany podczas uszczegółowienia klasy użytków rolnych w poprzednim kroku (patrz Krok 2). W procesie reklasyfikacji mapy glebowej wykorzystano zatem tylko dane dotyczące typów gleb i gatunków w kolejnych warstwach. Tabela 4

prezentuje wydzielone klasy glebowe. Należy podkreślić, że poszczególne typy gleb mogą reprezentować rozmaite rodzaje składu mechanicznego profilu glebowego. Klasy przedstawione w Tabeli 4 to efekt generalizacji, której celem było zmniejszenie liczby klas przy jednoczesnym zachowaniu zróżnicowania gleb w zlewni.

Tab. 4 Klasy mapy glebowej wprowadzonej do modelu SWAT.

L.p.	Typ gleby	Dominujący skład mechaniczny profilu	Kod SWAT
1	Bielicowe (A)	ps	A_ps
2	Bielicowe (A)	pgl:ps	A_pgl:ps
3	Bielicowe (A)	pgl:gl	A_pgl:gl
4	Brunatne (B)	ps.pl	B_ps.pl
5	Brunatne (B)	ps:pl	B_ps:pl
6	Brunatne (B)	pgl:gl	B_pgl:gl
7	Brunatne (B)	pgl.ps:pl	B_pgl.ps:pl
8	Brunatne (B)	pgm:gl	B_pgm:gl
9	Czarne ziemie (D)	pgl.pl	D_pgl.pl
10	Czarne ziemie (D)	ps:pl	D_ps:pl
11	Mułowo-glejowe (E)	mt	E_mt
12	Mady rzeczne (F)	pgl:pl	F_pgl:pl
13	Mady rzeczne (F)	gcp:.plz	F_gcp:.plz
14	Glejowe (G)	pgl:gl	G_pgl:gl
15	Murszowate (M)	mpl	Mpl
16	Torfowe (T)	n:pl	T_N:pl
17	Torfowe (T)	n	T_N
18	Wody powierzchniowe	-	WATR

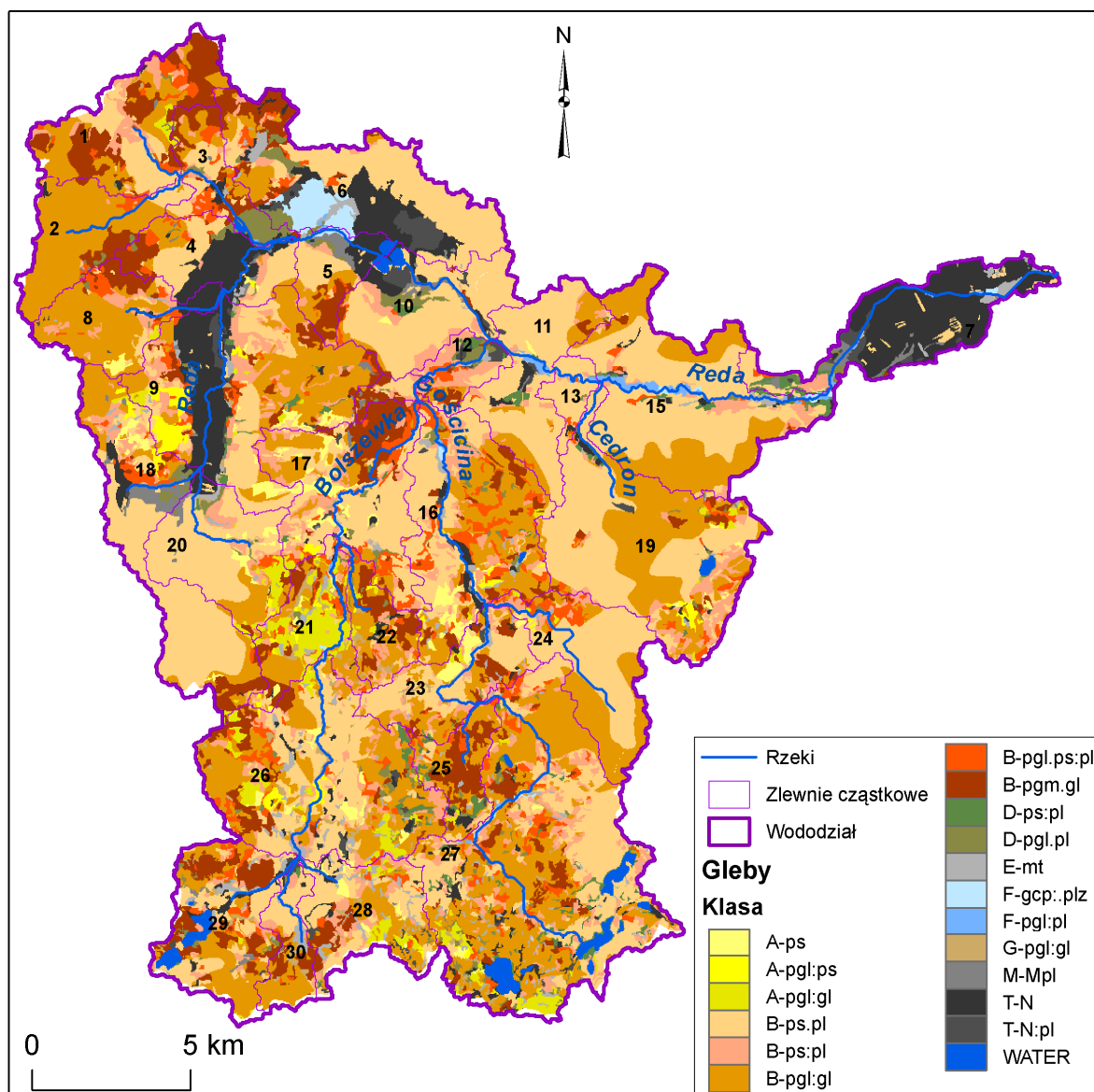
Legenda:

. zmiana utworu na głębokości do 50 cm; : zmiana utworu na głębokości 50-100cm; .: zmiana utworu na głębokości 100-150 cm;
 pl – piasek luźny; ps – piasek słabogliniasty; pgl – piasek gliniasty lekki; pgm – piasek gliniasty mocny; gl – glina lekka; plz – pył zwykły; gcp – glina ciężka pylasta; mt – muł; mpl – mursz z piaskiem luźnym; n – torf niski

Należy zwrócić uwagę, że mapa glebowa pochodząca z IUNG nie pokazuje zróżnicowania gleb leśnych. Na podstawie tej mapy nie da się więc określić składu mechanicznego gleb leśnych i w jakikolwiek sposób ich sklasyfikować. Dlatego też, jako uzupełniające źródło danych wykorzystano mapę wydzielen geologicznych udostępnianą przez Państwowy Instytut Geologiczny (PIG). Analiza porównawcza mapy wydzielen geologicznych i mapy glebowej na obszarach gleb rolniczych pozwalała wytypować klasy glebowe, które w przeważającej części zajmują poszczególne klasy wydzielen geologicznych. Zależność ta, przeniesiona na obszary gleb leśnych, pozwoliła przyporządkować klasy z Tabeli 4 do wydzielen geologicznych. Wydzielenie geologiczne „Piaski, żwiry, mady rzeczne oraz torfy i namuły” scharakteryzowano jako glebę B-ps.pl, natomiast wydzielenie „Gliny zwałowe, ich zwietrzliny oraz piaski i żwiry lodowcowe” jako glebę B-pgl:gl.

Rysunek 5 przedstawia ostateczną wersję mapy glebowej, jaka została wprowadzona do modelu SWAT, natomiast Rysunek 6 przedstawia strukturę gleb wg tejże mapy. Wynika z niej, że dominującym typem pokrywy glebowej są gleby brunatne (79.5%), najczęściej charakteryzujące się składem piaszczystym (B-ps.pl, 33.4%) oraz piaszczysto-gliniastym (B-pgl:gl, 25.6%). Bardziej szczegółowe dane dotyczące udziału poszczególnych klas glebowych w zlewniach cząstkowych znajdują się w wygenerowanym przez model raporcie umieszczonym w ścieżce

redaswat3\Watershed\text\LandUseSoilsReport.txt. Rastrowa mapa glebowa wprowadzona do modelu znajduje się natomiast w ścieżce redaswat3\Watershed\Grid\LandSoils1.

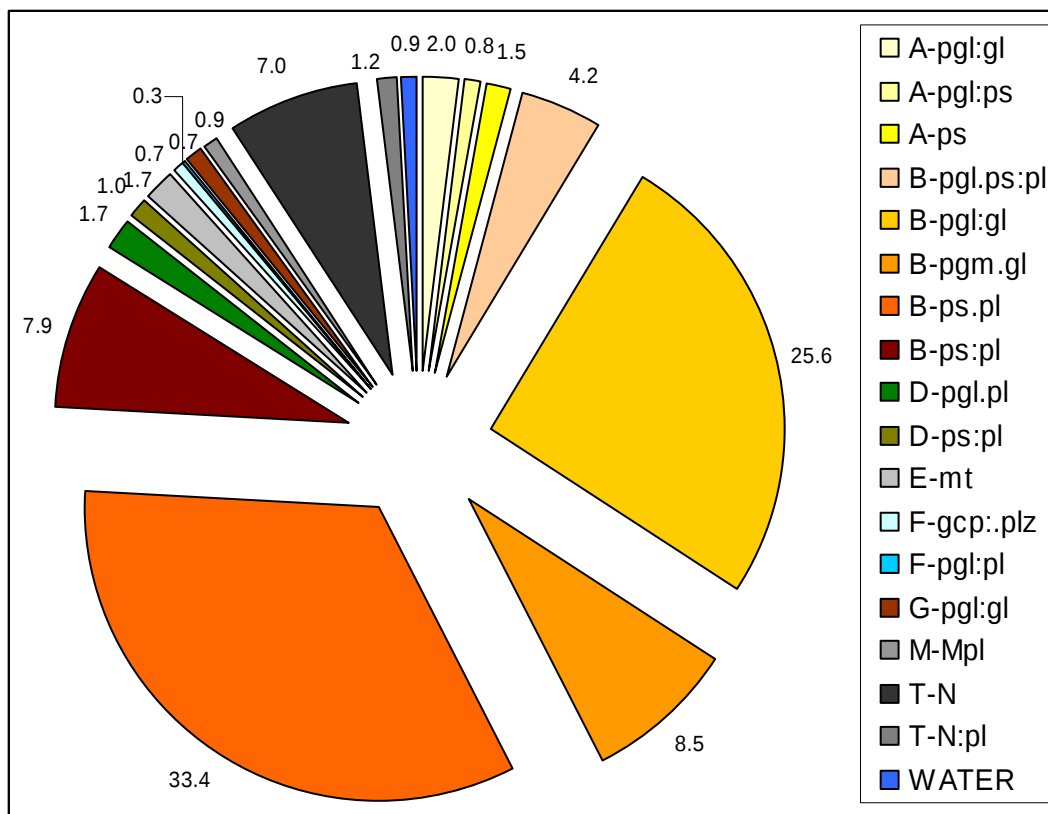


Rys. 5 Mapa glebowa wprowadzona do modelu SWAT.

Wszystkie klasy glebowe wymienione w Tabeli 4 zostały wprowadzone do tabeli *UserSoil* bazy *SWAT2009.mdb*. Każdy rekord tej bazy jest opisany za pomocą kilkudziesięciu parametrów określających przede wszystkim parametry fizyczne poszczególnych warstw gleby. Parametry te określono na podstawie dostępnej literatury glebowej (Zawadzki 1999; Ilnicki 2002) oraz wcześniejszych adaptacji modelu SWAT do warunków polskich (Piniewski i Okruszko 2011). Do określenia szczegółowego składu mechanicznego oraz zawartości próchnicy wykorzystano udostępnione przez IUNG profile wzorcowe gleb zlewni Redy. Dane te obejmowały trzy warstwy wektorowe (.shp):

- warstwa z lokalizacją 15 pełnych profili (kilka warstw) z pełnym składem mechanicznym (8 grup granulometrycznych) i zawartością próchnicy;

- warstwa z lokalizacją 1 niepełnego profilu (tylko warstwa wierzchnia) z pełnym składem mechanicznym (8 grup granulometrycznych);
- warstwa z lokalizacją 58 niepełnych profili (tylko warstwa wierzchnia) z uproszczonym składem mechanicznym (4 grupy granulometryczne) i zawartością próchnicy.

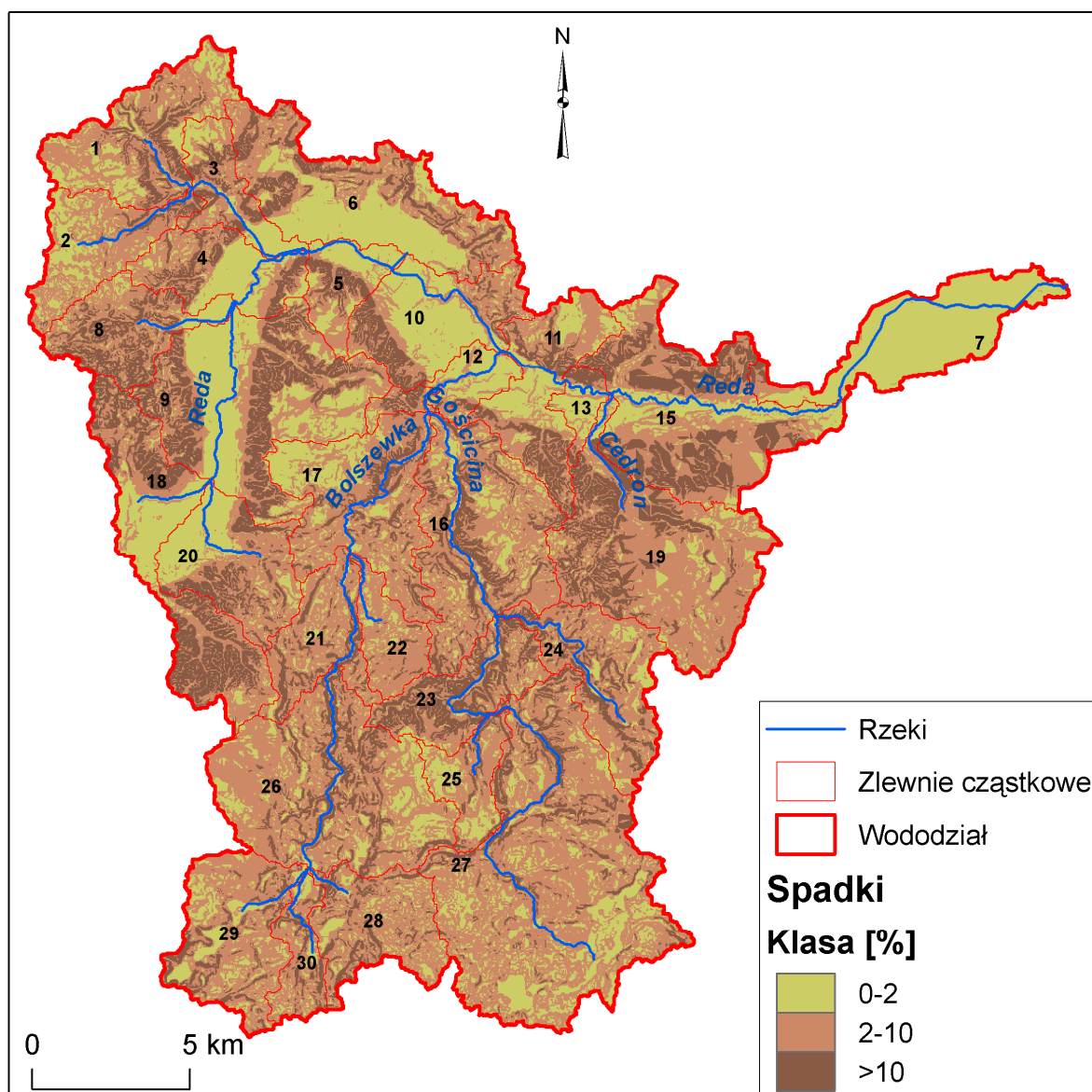


Rys. 6 Struktura gleb wg mapy wprowadzonej do modelu SWAT.

Krok 4. Wyznaczenie podziału zlewni cząstkowych na jednostki HRU (M. Piniewski)

HRU – *Hydrologic Response Units* – to podstawowe jednostki obliczeniowe w modelu SWAT. Wyznacza się je poprzez nałożenie na siebie mapy pokrycia terenu (wygenerowanej w Kroku 2), mapy glebowej (wygenerowanej w Kroku 3) oraz mapy spadków (wygenerowanej w Kroku 1 jako jeden elementów przetwarzania NMT) w każdej ze zlewni cząstkowych. Aby móc dokonać podziału na jednostki HRU konieczna jest klasyfikacja mapy spadków. Zastosowano podział na 3 klasy (Rys. 7):

- 0-2 % (tereny płaskie)
- 2-10 % (tereny średnio nachylone)
- >10 % (tereny silnie nachylone)



Rys. 7 Mapa spadków z podziałem na 3 klasy.

Aby uniknąć sytuacji, w której wynikiem intersekcji 3 map wejściowych są bardzo małe obszary, w procesie *HRU Delineation* wprowadza się odpowiednie wartości progowe. Jeśli powierzchnia danego wydzielenia posiada powierzchnię poniżej ustalonej wartości progowej, jest ona pomijana w analizie. Następnie suma powierzchni jednostek pominiętych jest rozkładana proporcjonalnie na jednostki, które pozostały w analizie. Zastosowano następujące wartości progowe:

- 50 ha dla klas użytkowania terenu w danej zlewni cząstkowej
- 30 ha dla klas glebowych w danej klasie użytkowania terenu
- 20 ha dla klas spadków w danej klasie glebowej

Przyjęte wartości progowe wynikały z analizy struktury poszczególnych charakterystyk znajdujących się na mapach wejściowych. Efektem przyjęcia powyższych wartości progowych było uzyskanie 465 jednostek HRU w całej zlewni, co daje średnią powierzchnię pojedynczej jednostki na poziomie 1.04 km². Proces wyznaczania jednostek HRU zmienił tylko w nieznacznym stopniu strukturę poszczególnych klas użytkowania, gleb i spadków w zlewni. Raport zawierający

podsumowanie nowej struktury oraz charakterystykę wszystkich 465 HRU znajduje się w ścieżce *redaswat3\Watershed\text\HRULandUseSoilsReport.txt*. Analogiczne dane można odnaleźć w tabeli *HRUs* geobazy *redaswat3.mdb*.

Krok 5. Przygotowanie wejściowych danych meteorologicznych (M. Piniewski)

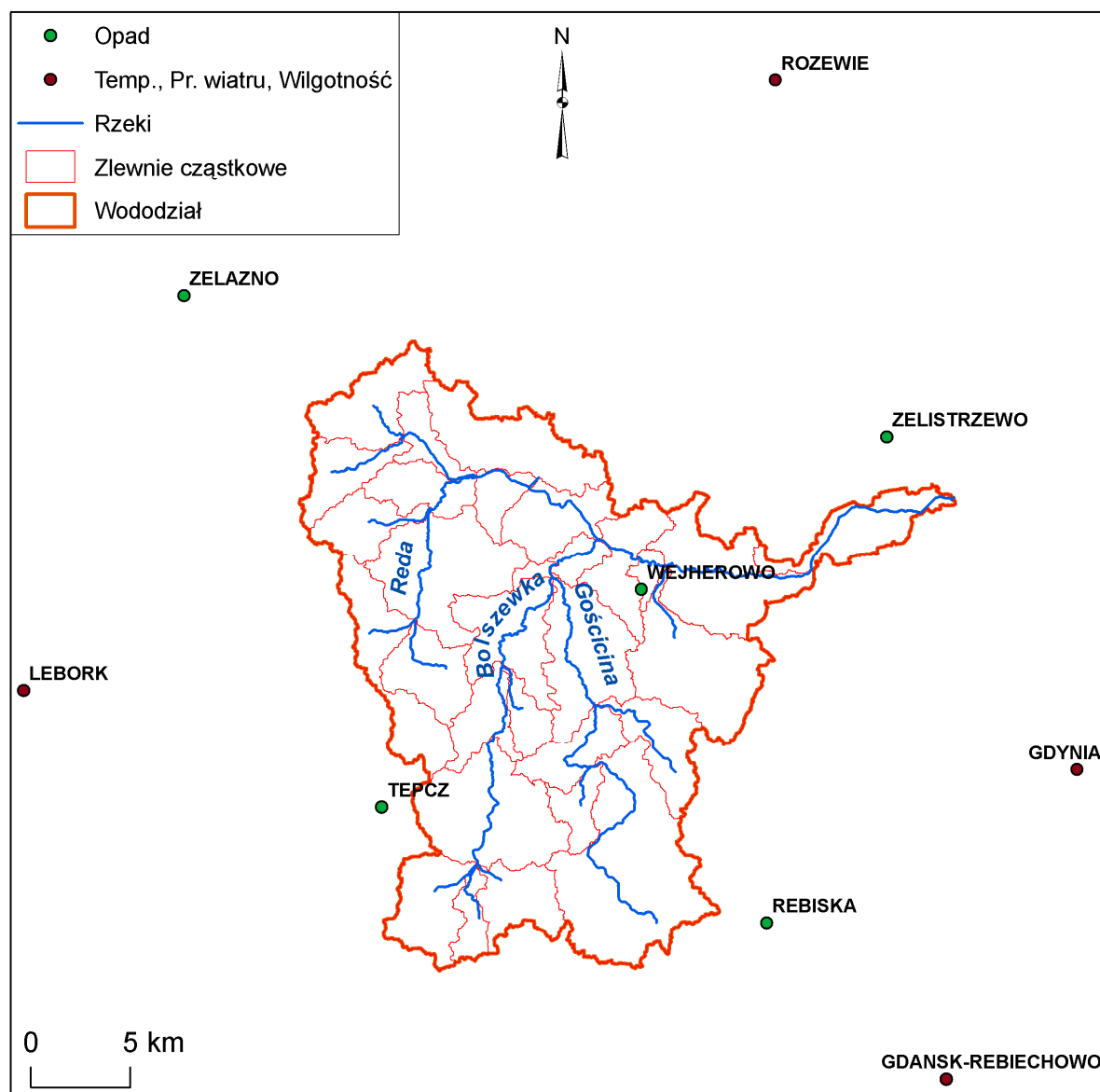
Do uruchomienia modelu SWAT niezbędne są następujące dane meteorologiczne:

- Opad atmosferyczny [mm] – suma dobową
- Temperatura powietrza [st. C] – dobowe minimum i maksimum
- Prędkość wiatru [m/s] – średnia dobową
- Wilgotność względna [-] – średnia dobową
- Całkowite promieniowanie słoneczne [MJ/m^2] – suma dobową

W przypadku każdej z powyższych zmiennych należy wczytać odpowiednio przygotowane warstwy zawierające lokalizację posterunków meteorologicznych oraz pliki wejściowe w formacie *.dbf* z ciągami danych dobowych. Dane udostępnione na potrzeby realizacji projektu przez IMGW w Gdyni, obejmują okres 20 lat kalendarzowych 1991 – 2010.

Rysunek 8 przedstawia lokalizację posterunków IMGW monitorujących ww. zmienne meteorologiczne w zlewni Redy i jej bezpośrednim sąsiedztwie. Opad atmosferyczny jest monitorowany jedynie w jednym posterunku na terenie zlewni (Wejherowo) oraz w 4 posterunkach w bliskim sąsiedztwie zlewni. Temperatura powietrza, prędkość wiatru oraz wilgotność względna są monitorowane w 4 posterunkach poza zlewnią. Promieniowanie słoneczne jest monitorowane tylko w jednym posterunku znajdującym się poza zlewnią (w Gdyni).

Cechą modelu SWAT jest przyporządkowywanie każdej zlewni cząstkowej najbliższego dla niej posterunku z wczytanej warstwy, osobno dla każdej zmiennej. Może to prowadzić do zauważalnych błędów, które można częściowo ograniczyć przeprowadzając interpolację danych meteorologicznych poza modelem i wczytując warstwy zawierające lokalizacje centroidów zlewni cząstkowych zamiast posterunków źródłowych. W tym celu wybrano jedną z prostszych metod interpolacji, metodę wieloboków Thiessena. Umożliwia ona estymację średnich obszarowych wartości dla poszczególnych zlewni cząstkowych. Wieloboki Thiessena wyznaczono w programie ArcMap za pomocą narzędzia *Create Thiessen Polygons*, osobno dla 5 posterunków opadowych i 4 posterunków klimatycznych. Co oczywiste w przypadku promieniowania interpolacji nie przeprowadzono.



Rys. 8 Lokalizacja posterunków IMGW z danymi meteorologicznymi wymaganymi przez model SWAT.

Oprócz ciągów danych dobowych model SWAT wymaga wprowadzenia co najmniej jednej lokalizacji, dla której będzie określony ogólny dla modelu zakres statystyk klimatycznych tj. średnie i odchylenia standardowe, w układzie miesięcznym. Dane te są wykorzystywane przez wbudowany w model Generator Pogody (*Weather Generator*) do uzupełniania brakujących danych bądź generowania pełnych ciągów wszystkich zmiennych meteorologicznych (jeśli wybrana zostanie taka opcja).

Ze względu na szeroką dostępność danych, punktem, który został wybrany do obliczenia statystyk klimatycznych, była Gdynia. Statystyki zostały obliczone i udostępnione przez Zleceniodawcę, po czym zostały wprowadzone do modelu (tabela *userwgn* w bazie *SWAT2009.mdb*).

Krok 6. Uzupełnienie brakujących wartości i uaktualnienie domyślnych wartości wybranych parametrów modelu (T. Okruszko, M. Piniewski, I. Kardel)

Po wczytaniu danych meteorologicznych do modelu kolejną czynnością jest wygenerowanie przez ArcSWAT odpowiednich tabel z parametrami wejściowymi do geobazy *redaswat3.mdb*. Po zapisaniu tych tabel, interfejs umożliwia ich edycję. Po każdej dokonanej zmianie należy zastosować funkcję *Rewrite SWAT input files*, w wyniku której model nadpisuje pliki wejściowe w katalogu *redaswat3\Scenarios\Default\TxtInOut*. To właśnie te pliki, a nie tabele geobazy *redaswat3.mdb* są wykorzystywane przez program *swat2009.exe* do wykonywania symulacji. Geobaza i interfejs ArcSWAT służą tu tylko jako narzędzie ułatwiające zarządzanie i edycję danych.

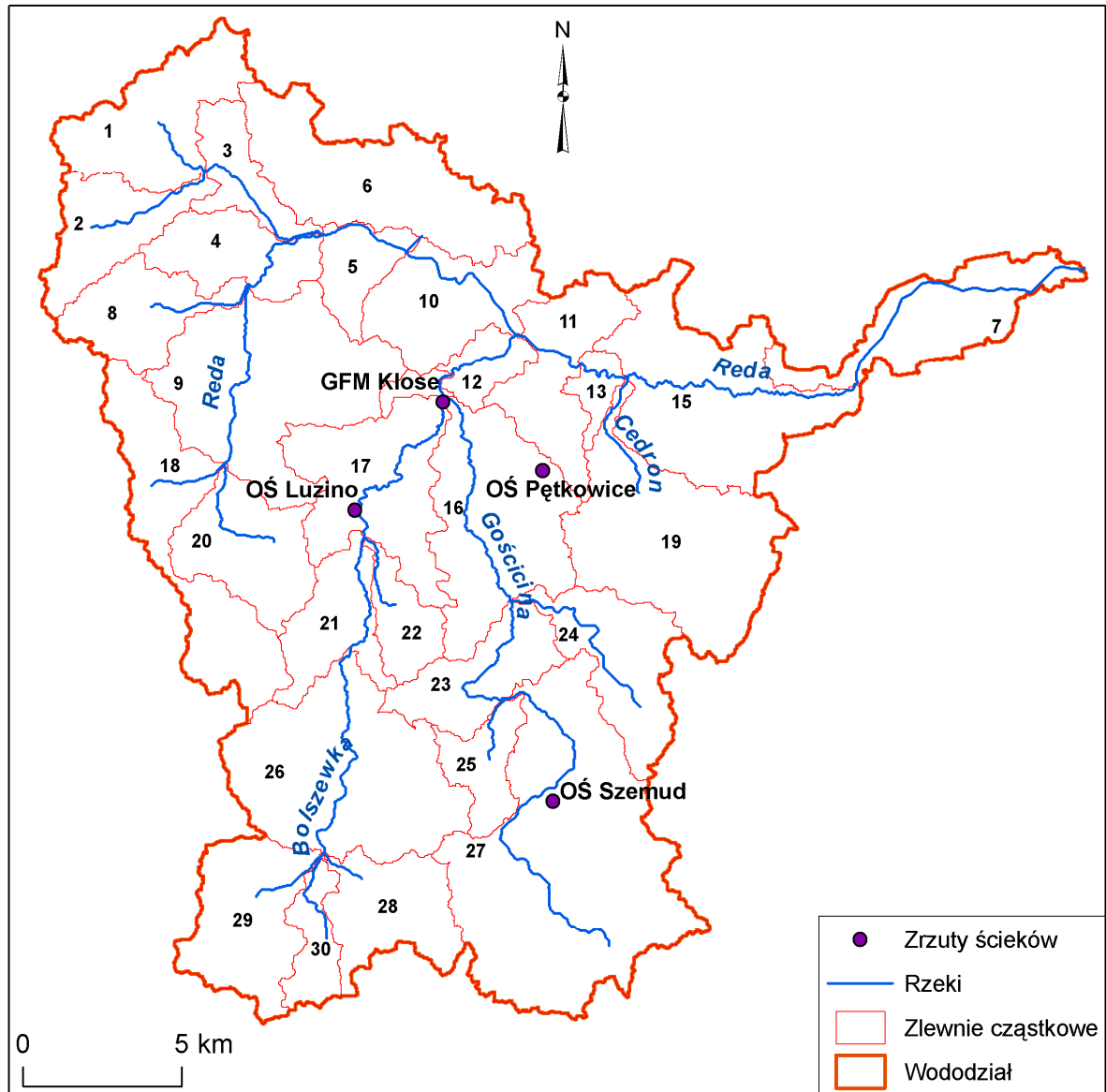
Należy podkreślić, że wiele z wygenerowanych przez model tabel zawiera wartości domyślne parametrów, które często mogą być niepoprawne w warunkach polskich albo mogą zawierać pewne braki. Jeśli istniejące źródła pozwalają na lepsze oszacowanie wartości danego parametru, wskazane jest zastąpienie domyślnej wartości przez nową. Dlatego ostatnim, ważnym, etapem budowy struktury modelu jest weryfikacja tabel wejściowych, po której następuje uzupełnienie ewentualnych braków i uaktualnienie wartości uznanych za niepoprawne.

A. Punktowe zrzuty ścieków

Podstawowym źródłem danych dotyczących punktowych zrzutów ścieków były materiały udostępnione przez Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej (RZGW) w Gdańsku z katastru wodnego. Wielkości wydatków zostały określone na podstawie danych o maksymalnym dopuszczonym zrzucie wg pozwoleń wodnoprawnych oraz danych o zrzutach rzeczywistych (dane z Urzędu Marszałkowskiego). Dodatkowymi źródłami danych były informacje ustne od pracowników oczyszczalni uzyskane w czasie wyjazdu terenowego w zlewni Redy w dniach 4-5.07.2011 oraz opracowanie Tyszewskiego i Pusłowskiej-Tyszewskiej (2006). Analiza przekazanych i zebranych materiałów wykazała, że z punktu widzenia modelowania istotne są 4 zrzuty scharakteryzowane w Tabeli 5.

Tab. 5 Zestawienie wybranych punktowych zrzutów ścieków.

Lp	Nazwa	Rodzaj ścieków	Wydatek [m ³ /d]	Odbiornik	Nr zlewni cząstkowej SWAT
1	Oczyszczalnia ścieków w Luzinie	Komunalne	650	Bolszewka	17
2	Oczyszczalnia ścieków w Szemudzie	Komunalne	0 do 2006 r., 90 od 2007 r.	Gościcina	27
3	Oczyszczalnia ścieków AWRSP w Pętkowicach	Komunalne	30	Gościcina	16
4	Gościcińska Fabryka Mebli Klose	Przemysłowe	180	Bolszewka	17



Rys. 9 Zrzuty ścieków uwzględnione w modelu SWAT.

Ze względu na fakt, że w modelu SWAT można zdefiniować co najwyżej jeden punkt zrzutu w danej zlewni częściowej, wydatki zrzutów z oczyszczalni w Luzinie i z Gościcińskiej Fabryki Mebli trafiające do zlewni częściowej nr 17 zostały w niej zsumowane.

Dane dotyczące punktowych zrzutów ścieków znajdują się w tabeli *pp* geobazy *redaswat3.mdb*.

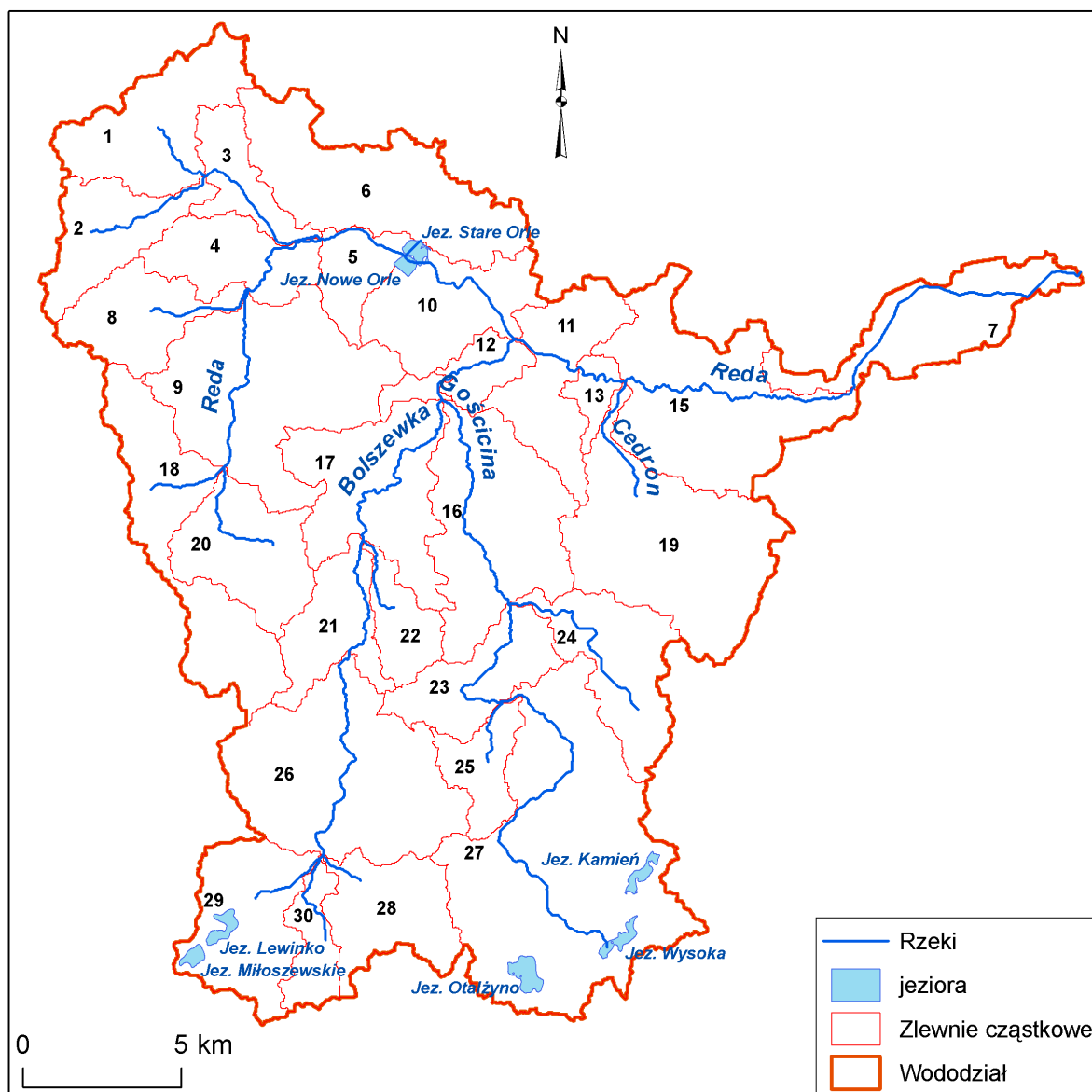
B. Parametry zbiorników (*Reservoirs*)

Jeziora (zarówno sztuczne jak i naturalne) można uwzględniać w modelu SWAT na dwa sposoby:

1. Jako tzw. zbiorniki (*reservoirs*)
2. Jako małe jeziora, stawy, oczka wodne (*pond*)

W pierwszym przypadku zbiorniki (*reservoirs*) umiejscowione są w sieci cieków modelu. W drugim przypadku obiekty typu *pond* umiejscowione są poza siecią cieków, na obszarze zlewni częściowej. Obiekty typu *reservoir* modyfikują transformację fali w korycie (*routing*), a obiekt typu *pond* modyfikują jedynie zasilanie ze swoich zlewni.

W zlewni Redy istnieje 7 zbiorników wodnych (jezior) o powierzchni powyżej 25 ha (Rys. 10). Dwa z nich, które można traktować jak jeden (Orle Nowe i Orle Stare), znajdują się na Redzie w jej środkowym biegu. Zostały one uwzględnione w modelu jako jeden obiekt typu *reservoir* w zlewni częściowej nr 5. Z pozostałych pięciu jezior, trzy (Otałżyno, Wysoka, Kamień) znajdują się w obszarze źródłowym Gościciny, a dwa (Lewinko, Miłoszewskie) w obszarze źródłowym Bolszewki. Pierwsze trzy zostały w modelu uwzględnione jako jeden obiekt typu *pond* w zlewni częściowej nr 27, a pozostałe dwa, również jako jeden obiekt typu *pond*, w zlewni częściowej nr 29.



Rys. 10 Jeziora o powierzchni powyżej 25 ha w zlewni Redy.

Parametry jeziora Orle (tabela *res* geobazy *redaswat3.mdb*) zdefiniowano na podstawie informacji przekazanych przez Zleceniodawcę (morfometria jeziora) oraz doświadczeń związanych z kalibracją modelu SWAT w zlewniach Pojezierza Mazurskiego. Parametry te powinny podlegać ręcznej kalibracji ze względu na dużą wrażliwość modelu na parametry zbiornika poniżej wpływu.

Parametry pozostałych jezior (tabela *pnd* geobazy *redaswat3.mdb*) określono natomiast na podstawie warstwy jeziora z MPHP oraz na podstawie NMT (parametr *PND_FR*, procent powierzchni zlewni drenowanej przez jeziora).

C. Parametry cieków

Model SWAT w procesie *Watershed delineation* generuje parametry charakteryzujące geometrię odcinków cieków w zlewniach cząstkowych. Są one zapisane w tabeli *rte* geobazy *redaswat3.mdb*. Proces wyznaczania tych parametrów jest automatyczny i powinien, w miarę możliwości, zostać zweryfikowany. Przeprowadzona weryfikacja polegająca na porównaniu warstwy cieków z modelu z warstwą cieków z MPHP wykazała, że długości cieków (*CH_L2*) w zlewniach źródłowych (1, 2, 6, 8, 18-20, 22, 24, 25, 27-30) zostały zaniżone. Wprowadzono w ich miejsce wartości wg warstwy cieków z MPHP.

Szerokości (*CH_W2*) i średnie głębokości (*CH_D2*) odcinków cieków zostały z kolei znacznie zawyżone przez SWAT, co wynika z faktu, że model estymuje te parametry za pomocą funkcji potęgowej zmiennej „powierzchnia zlewni”. Podobnie jak w pracy Piniewskiego i Okruszko (2011) zastosowano współczynniki korygujące wymiary koryt. Po analizie dostępnych materiałów, m.in. opracowania Wołoszyn i in. (2011) oraz wyników pomiarów terenowych wykonanych w dniach 4-5.07.2011 stwierdzono, że wartości *CH_D2* należy pomnożyć przez 0.5, a wartości *CH_W2* przez 0.7. Należy podkreślić, że po tej korekcie parametry te nadal odbiegają od rzeczywistych (nieznanych w całym przebiegu cieków wartości), jednak błąd jest znacznie mniejszy.

Z uwagi na korektę wartości parametrów *CH_W2* i *CH_D2*, poprawiono również wartości parametru *CH_WDR* (stosunek głębokości do szerokości koryta). Zmieniono też wartości współczynnika szorstkości Manninga na 0.065 wg danych dla rzek Redy i Bolszewki z opracowania Wołoszyn i in. (2008).

D. Parametry zlewni cząstkowych

Wartości większości parametrów występujących w tabeli *sub* geobazy *redaswat3.mdb* pozostawiono w większości niezmiennione. Zmieniono jedynie wartości następujących parametrów modyfikujących dane meteorologiczne w związku z urozmaiconą topografią zlewni: pionowy gradient temperatury powietrza (*TLAPS*) oraz pionowy gradient opadów atmosferycznych (*PLAPS*). Z tych samych powodów co wyżej (patrz punkt C. Parametry cieków) zmniejszono szerokości koryta dopływów (*CH_W1*) o 50% oraz współczynniki szorstkości Manninga w dopływie (*CH_N1*) na 0.065.

E. Parametry wód podziemnych

SWAT nie jest modelem wód podziemnych, lecz modelem zlewniowym, który jedynie zawiera komponent modelujący retencję i zasilanie wód podziemnych w sposób uproszczony. Oznacza to, że wartości większości wrażliwych parametrów należy dodatkowo skalibrować. Jednym z wyjątków jest stała recesji odpływu podziemnego (*ALPHA_BF*), której wartość można oszacować za pomocą tzw. filtrów separujących odpływ podziemny od powierzchniowego. W tym celu uruchomiono program HYSEP (*Hydrograph separation*, Arnold i Allen, 1999) wykorzystując 7-letni ciąg dobowych przepływów z posterunku IMGW w Wejherowie, od 2000 do 2006. Uzyskano wartość *ALPHA_BF* = 0.0406 i taką wartość wprowadzono do tabeli *gw* geobazy *redaswat3.mdb*. Przy pomocy programu HYSEP dokonano również estymacji udziału odpływu podziemnego w odpływie całkowitym. Obliczona ta wartość wynosi ok. 80%. Tę informację można wykorzystać w procesie kalibracji modelu.

F. Parametry rowów melioracyjnych

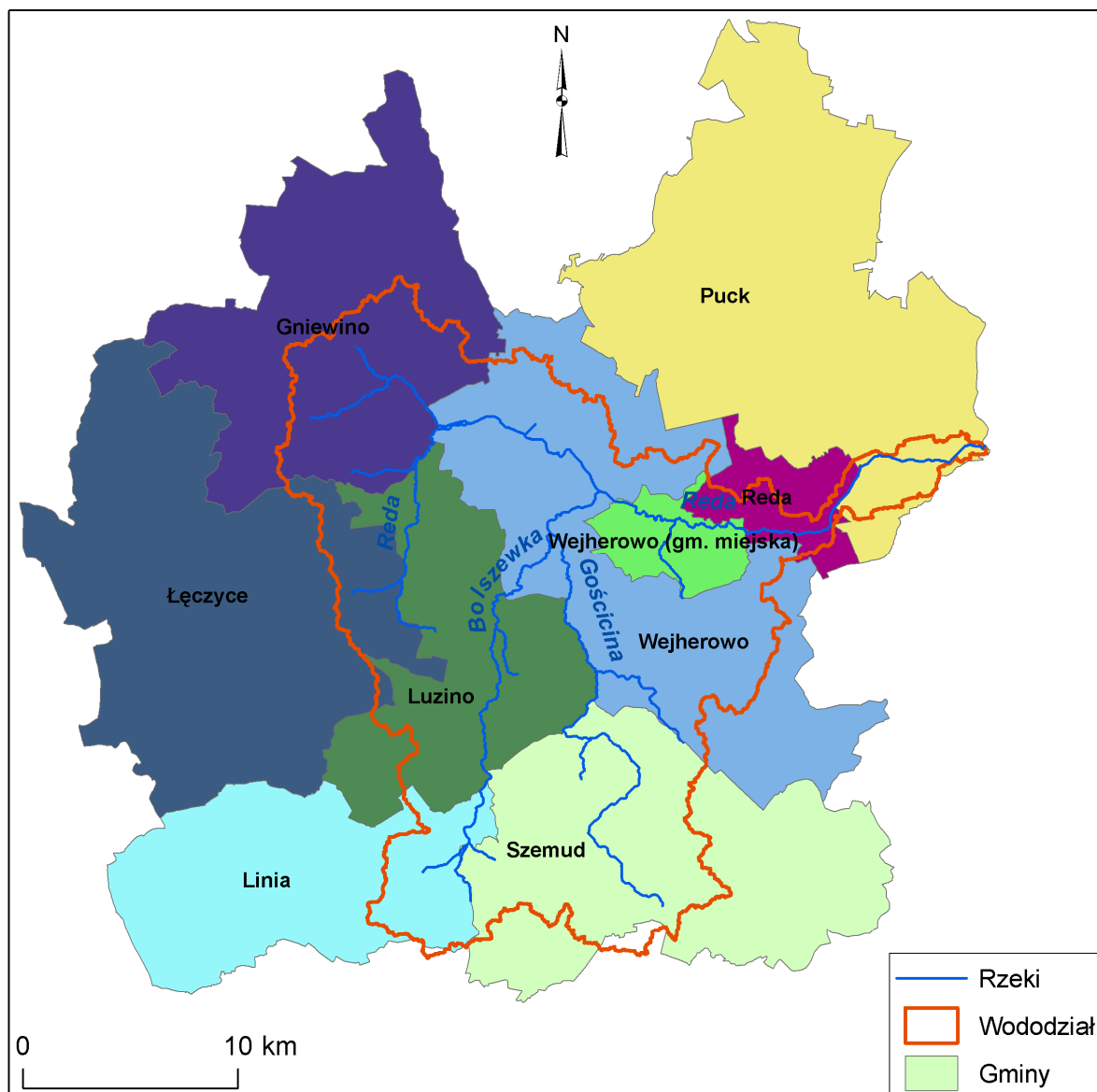
W modelu SWAT można uwzględnić proces przyspieszonego drenowania obszarów o nadmiernym uwilgotnieniu za pomocą systemów drenarskim. Funkcja ta nosi nazwę *Tile drainage* i została pomyślana jako sposób na modelowanie odpływu z rur drenarskich, jednak można z pewnym przybliżeniem zastosować ją do dużo powszechniejszych w Polsce dolinowych systemów melioracyjnych na użytkach zielonych. Z danych przekazanych przez Wojewódzki Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych (WZMiUW) w Gdańsku wynika, że w zlewni Redy systemy te mają z reguły charakter jedynie odwadniający, a nie nawadniająco-odwadniający.

Na podstawie warstwy *rzeki_n* z MPHP określono te zlewnie cząstkowe, w których na użytkach zielonych występuje gęsta sieć rowów melioracyjnych. Są to zlewnie numer: 4-7, 9 i 10. W tych zlewniach, we wszystkich tych jednostkach *HRU* w których typem użytkowania jest *UZ2* i *UZ3* (użytki zielone 2-giej i 3-ej klasy) zdefiniowano parametry funkcji *Tile drain* w tabeli *mgt1* geobazy *redaswat3.mdb*: głębokość do drenów (*DDRAIN*), czas potrzebny na zdrenowanie gleby do połowej pojemności wodnej (*TDRAIN*) oraz czas opóźnienia spływu z drenów do cieku (*GDRAIN*). W tych samych *HRU* w tabeli *.hru* określono głębokość do warstwy nieprzepuszczalnej *DEP_IMP*.

G. Parametry praktyk rolniczych

Model SWAT pozwala na uwzględnienie rozmaitych praktyk rolniczych, m.in. nawożenia, nawadniania, orki, żniw, wypasu, koszenia łąk itp. Praktyki te definiuje się na poziomie jednostek *HRU* np. w zlewni cząstkowej A dla uprawy B na glebie C ze spadkiem D. Podstawowym źródłem danych wykorzystanych na tym etapie były materiały i informacje ustne przekazane przez Pomorski Ośrodek Doradztwa Rolniczego (PODR) w Gdańsku oraz Biuro Powiatowe PODR w Wejherowie.

Wszystkie dostępne dane dotyczące rolnictwa zostały opracowane dla gmin. Zlewnia Redy znajduje się niemal w całości na terenie powiatów wejherowskiego (gminy: Gniewino, Linia, Luzino, Łęczyce, Szemud, Wejherowo, Wejherowo – gm. miejska) i puckiego (gmina Puck), jedynie niewielki skrawek w południowej części, wchodzi w skład powiatu kartuskiego. Położenie zlewni Redy na tle jednostek podziału administracyjnego przedstawione jest na Rysunku 11. Do szczegółowych analiz dotyczących struktury upraw w danych gminach zdecydowano się wybrać tylko gminy stanowiące znaczną część zlewni Redy. W ten sposób wybrano cztery gminy: Gniewino, Luzino, Szemud i Wejherowo. Obszar wyznaczony przez te gminy pokrywa 82% powierzchni użytków rolnych w zlewni Redy, co uznano za wartość wystarczającą z punktu widzenia reprezentatywności danych.

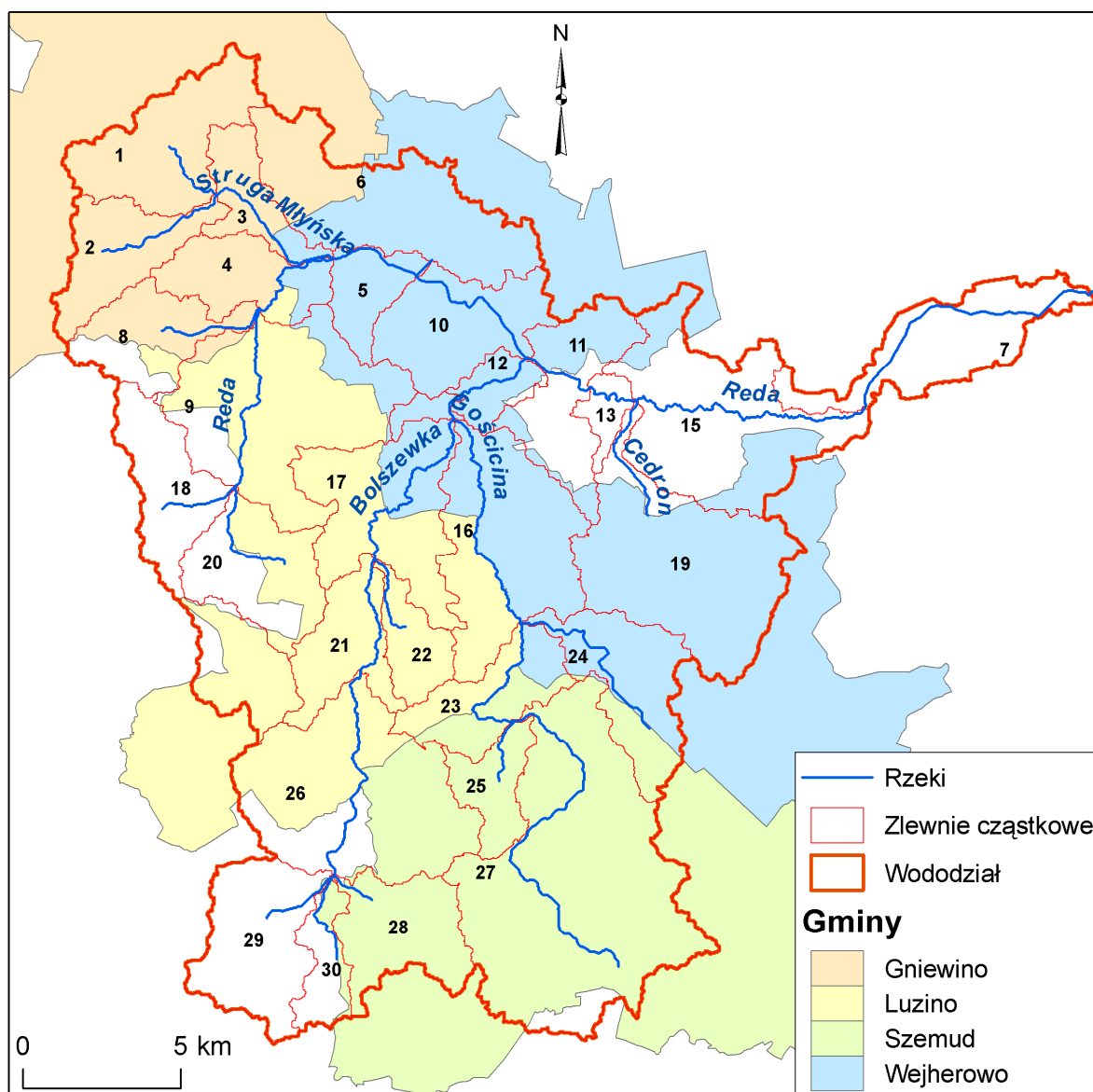


Rys. 11 Zlewnia Redy na tle podziału administracyjnego na gminy.

Kolejną czynnością było przyporządkowanie każdej zlewni częściowej w modelu SWAT jednej z czterech wybranych gmin. Rysunek 12 ilustruje położenie zlewni częściowych na tle wybranych gmin a w Tabeli 6 zamieszczone są numery zlewni przypisane danym gminom.

Tab. 6 Przyporządkowanie pomiędzy zlewniami częściowymi SWAT i wybranymi gminami.

L.p.	Nazwa gminy	Nr zlewni częściowych SWAT
1	Gniewino	1-4, 8
2	Luzino	9, 17-18, 20-22, 26
3	Szemud	23, 25, 27-30
4	Wejherowo	5-7, 10-16, 19-24



Rys. 12 Zlewnie cząstkowe na tle 4 wybranych gmin.

G1. Grunty orne

W wyniku analizy udostępnionych przez PODR danych o strukturze zasiewów na gruntach ornych w każdej z czterech wybranych gmin w 2010 r. wybrano gatunki roślin uprawnych, które zostaną uwzględnione w modelu SWAT. Kierowano się tu trzema przesłankami:

- udziałem danej rośliny uprawnej w całkowitej strukturze upraw w danej gminie;
- podobieństwem między poszczególnymi roślinami uprawnymi w kontekście agrotechnicznym (w celu generalizacji ogólnej liczby typów upraw);
- występowaniem danej rośliny uprawnej w tabeli *crop* bazy *swat2009.mdb*.

Efektom tej analizy było wybranie następujących gatunków roślin uprawnych wymienionych w Tabeli 7.

Tab. 7 Rośliny uprawne uwzględnione w modelu SWAT.

L.p.	Roślina uprawna	Odpowiednik SWAT - kod	Odpowiednik SWAT – nazwa
1	Żyto	RYE	Rye
2	Pszenżyto ozime	RYE*	Rye
3	Owies	OATS	Oats
4	Pszenica jara	SWHT	Spring wheat
5	Ziemniaki	POTA	Potato
6	Mieszanek strączkowe	FPEA**	Field peas
7	Motylkowe drobnonasienne	RCLV	Red clover
8	Rzepak	CANP	Spring canola - Polish

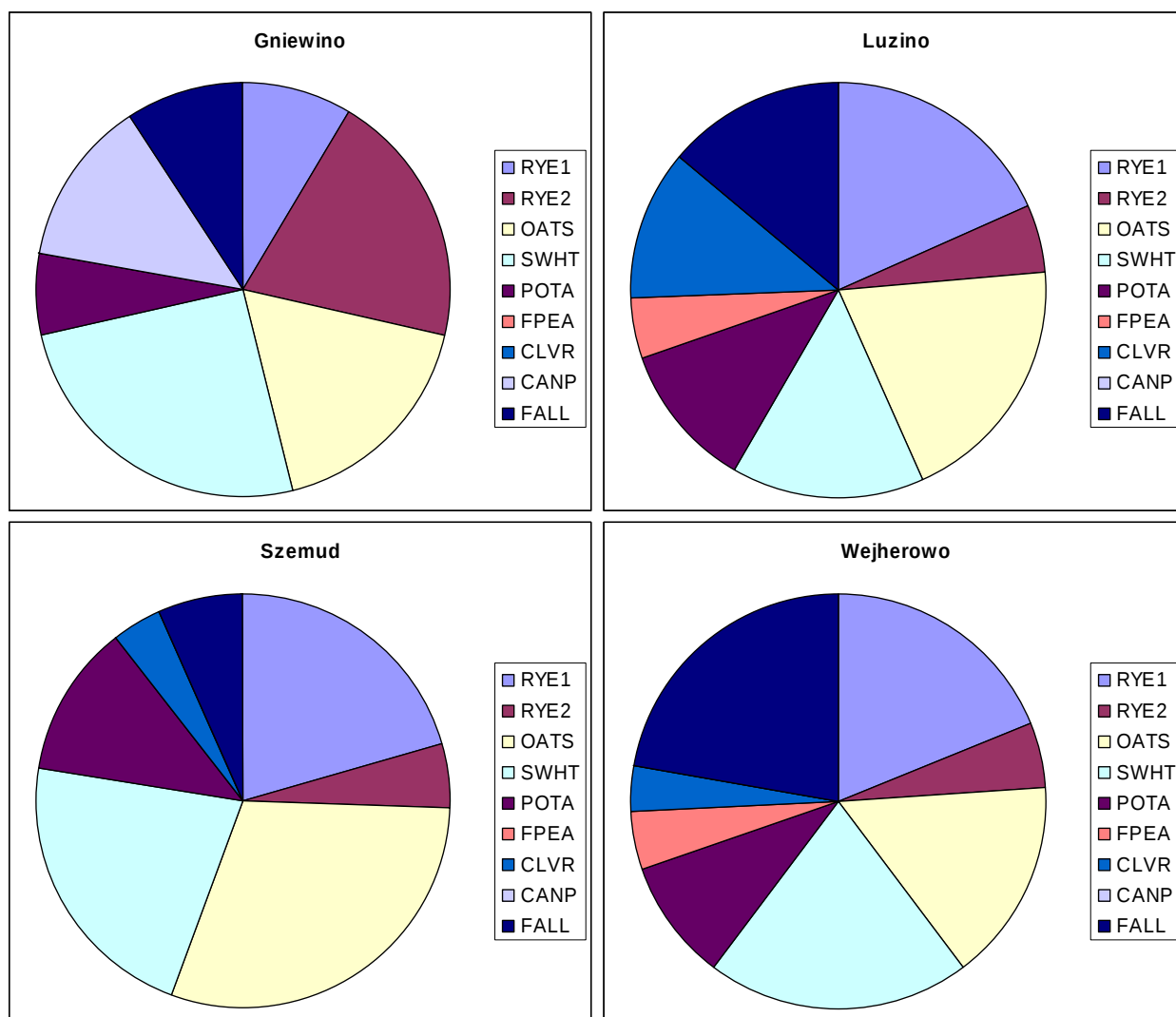
* w modelu SWAT brak jest właściwego odpowiednika pszenżyta ozimego i RYE jest najbliższym odpowiednikiem; zróżnicowanie między żytem i pszenżytem ozimym zachowano ze względu na różne potrzeby nawozowe.

** FPEA to groch polny, jeden z głównych składników mieszanek strączkowych.

*** RCLV to koniczyna czerwona, jeden z głównych przedstawicieli motylkowych drobnonasiennych.

W każdej z czterech analizowanych gmin struktura zasiewów (po generalizacji roślin uprawnych) jest nieco inna (Rys. 13). Celem kolejnego kroku było przestrzenne rozłożenie roślin uprawnych wymienionych w Tabeli 7 na jednostki HRU w każdej grupie zlewni częściowych wymienionych w Tabeli 6 w taki sposób, by zachowane zostały orientacyjne proporcje pomiędzy poszczególnymi uprawami w każdej grupie zlewni. W trakcie wykonywania tej czynności kierowano się również materiałami dotyczącymi produkcji rolniczej w woj. pomorskim udostępnianymi na stronie internetowej Powiatowego Ośrodka Doradztwa Rolniczego (PODR) - http://podr.pl/prod_roslinna.php. W materiałach tych podane są informacje na jakich kompleksach przydatności rolniczej są z reguły uprawiane poszczególne rośliny w woj. pomorskim. I tak przykładowo, rzepak i pszenicę jarą ulokowano w przeważającej części na klasach użytkowania terenu GO2 i GO4 (patrz też Rys. 3 i 4) natomiast żyto i pszenżyto na klasach GO6 i GO7.

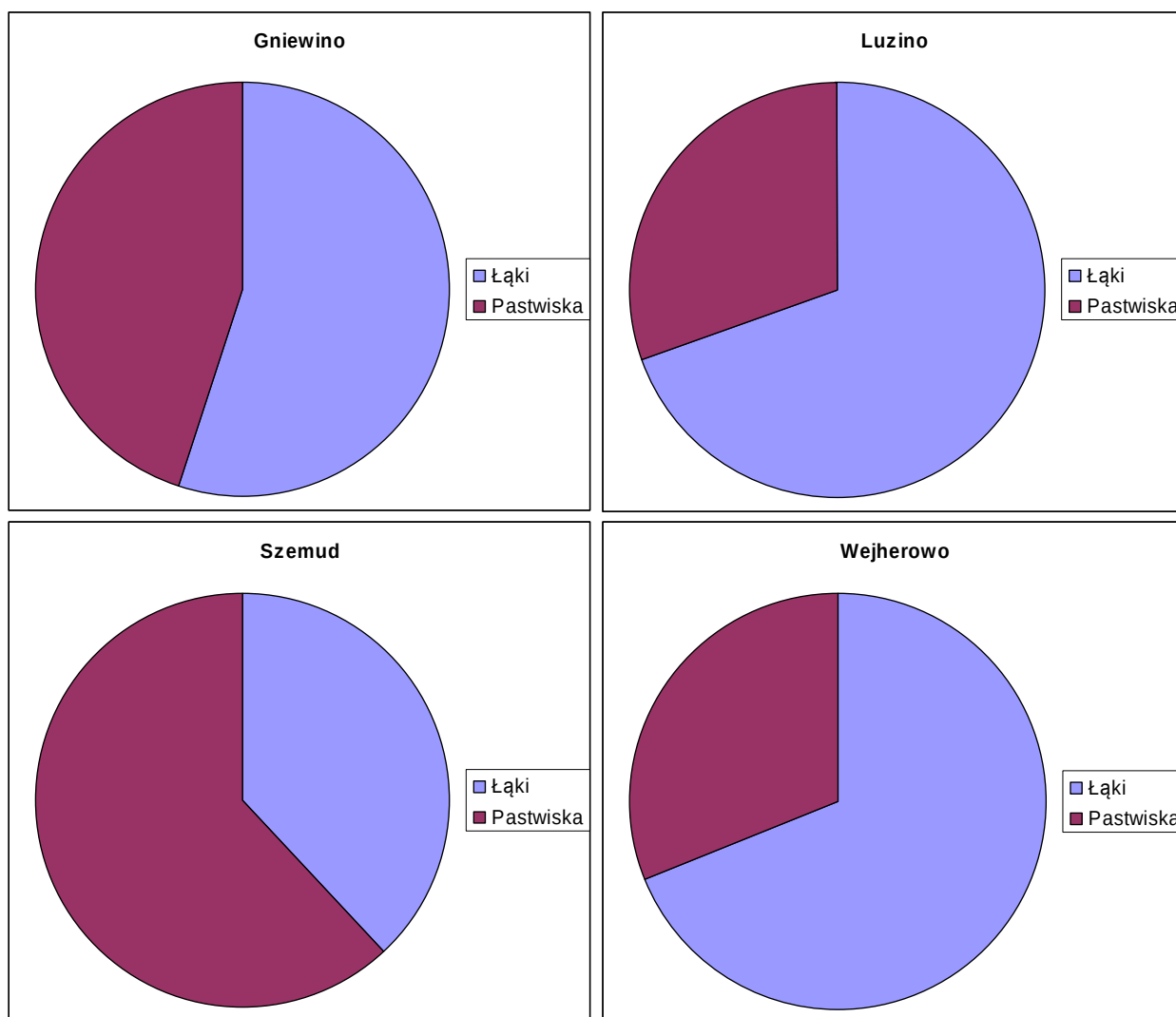
Ostatnim krokiem było zdefiniowanie w modelu kalendarza praktyk rolniczych dla każdej z roślin uprawnych wymienionych w Tabeli 7. Czynność tę wykonano w oparciu o informacje przekazane z Biura Powiatowego PODR w Wejherowie (np. terminy stosowania praktyk) oraz na podstawie wspomnianych wyżej zasobów internetowych PODR w Gdańsku (dawki nawozów). Parametry praktyk znajdują się w tabeli *mgt2* geobazy *redaswat3.mdb*. Podgląd tych danych jest jednak znacznie wygodniejszy poprzez funkcję *Edit SWAT Input - Subbasins Data* w menu ArcSWAT.



Rys. 13 Struktura zasiewów w czterech wybranych gminach (po generalizacji roślin uprawnych; kody jak w Tabeli 7, dodatkowo klasa FALL – głównie grunty odłogowane i trawy polowe).

G2. Użytki zielone

W przypadku użytków zielonych (klasy *UZ2* i *UZ3*) właściwym odpowiednikiem porastającej je roślinności w SWAT jest roślina o nazwie *Tall Fescue* (kod *FESC*, kostrzewa trzcinowa). Elementem różnicującym użytki zielone jest kierunek ich użytkowania – łąkowy lub pastwiskowy. Z danych udostępnionych przez PODR wynika, że w gminach Gniewino, Luzino i Wejherowo przeważa użytkowanie łąkowe, natomiast w gminie Szemud pastwiskowe (Rys. 14). Użytkowanie pastwiskowe zostało wprowadzone we wszystkich HRU, w których klasą użytkowania jest *UZ3*, a klasą glebową *T_n*. W pozostałych HRU typu *UZ2* i *UZ3* zdefiniowano użytkowanie łąk dwukośnych. Terminy pokosów, rozpoczęcia i końca wypasu oraz nawożenia użytków zielonych wprowadzono na podstawie materiałów PODR. Nie zdefiniowano operacji nawadniania, gdyż na podstawie danych przekazanych z WZMiUW w ostatnich latach, w odróżnieniu od lat 70-tych i 80-tych XX wieku, nawodnienia były prowadzone na bardzo niewielką skalę.



Rys. 14 Struktura użytkowania użytków zielonych w czterech wybranych gminach.

Zdefiniowane w modelu praktyki rolnicze z czysto hydrologicznego punktu widzenia mają największy wpływ na wielkość ewapotranspiracji. Należy podkreślić, że niepewność zawarta w tych danych jest znaczna – zmienność czasowa i przestrzenna praktyk agrotechnicznych rolników jest w zasadzie niemożliwa do uchwycenia w modelu operującym w skali zlewni tej wielkości co zlewnia Redy. Zaprezentowane podejście jest jednym z wielu możliwych, a jego zasadniczym celem jest próba uchwycenia praktyk przeciętnych. Jednym z wyników generowanych przez model są wielkości plonów upraw, które można porównać z wartościami publikowanymi przez GUS lub PODR. Dobrym krokiem zmierzającym do zmniejszenia niepewności wynikającej z charakteru dostępnych danych może być ręczna kalibracja, na dalszym etapie opracowywania modelu, wielkości dawek nawozów w celu dopasowania symulowanych wielkości plonów do wielkości obserwowanych.

4 Literatura

ARNOLD, J.G., ALLEN, P.M. 1999. Automated methods for estimating baseflow and groundwater recharge from streamflow records. *Journal of the American Water Resources Association*. 35(2), 411-424.

ILNICKI, P. (red.), 2002. *Torfowiska i torf.*. Wyd. AR w Poznaniu, Poznań.

NEITSCH, S.L., ARNOLD, J.G., KINIRY, J.R., SRINIVASAN, R., WILLIAMS, J.R. 2010. *Soil and Water Assessment Tool Input/Output File Documentation. Version 2009*. Grassland Soil and Water Research Laboratory. Blackland Research Center, Temple, Texas. TWRI Technical Report No. 365.

NEITSCH, S.L., ARNOLD, J.G., KINIRY, J.R., WILLIAMS, J.R. 2005. *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. Version 2005*. Grassland Soil and Water Research Laboratory. Blackland Research Center, Temple, Texas.

PINIEWSKI, M., OKRUSZKO, T. 2011. Multi-site calibration and validation of the hydrological component of SWAT in a large lowland catchment. W: *Modelling of Hydrological Processes in the Narew Catchment* (Świątek D., Okruszko T. red.) *Geoplanet. Earth and Planetary Sciences*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 15-41.

TYSZEWSKI, S., PUSŁOWSKA-TYSZEWSKA, D. 2006. *Analiza możliwości poprawy stanu jakościowego oraz ilościowego wód w zlewni rzeki Redy*; opracowanie na zlecenie RZGW w Gdańsku, Warszawa.

WINCHELL, M., SRINIVASAN, R., DI LUZIO, M., ARNOLD, J.G. 2010. *ArcSWAT interface for SWAT2009. User's guide*. Blackland Research and Extension Center. Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Temple, Texas.

WOŁOSZYN, E., SZYDŁOWSKI, M., SZPAKOWSKI, W., ZIMA, P. 2008. *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*. Opracowanie na zlecenie Urzędu Gminy Wejherowo, Gdańsk.

ZAWADZKI, S. (red.) 1999. *Gleboznawstwo*. PWRiL, Warszawa.