UNIWERSYTET IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU

Modelowanie obiegu materii z wykorzystaniem modelu SWAT w programie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP)

Joanna Gudowicz, Alfred Stach, Zbigniew Zwoliński

Instytut Geoekologii i Geoinformacji UAM

ŚRODOWISKO INFORMACJI

1-2 października 2014
Centrum Nauki Kopernik

Plan prezentacji

1. Założenia programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP)
2. Model Soil and Water Assessment Tool (SWAT)
   - ogólna charakterystyka i przeznaczenie
   - cel zastosowania w programie ZMŚP
   - dane wejściowe
   - etapy modelowania
3. Wpływ jakości danych wejściowych na wyniki symulacji wykonywanych modelem SWAT
   - cyfrowy model wyskościowy (DEM)
   - mapy glebowe
   - przykłady wyników
4. Wnioski

Założenia programu ZMŚP

Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP)

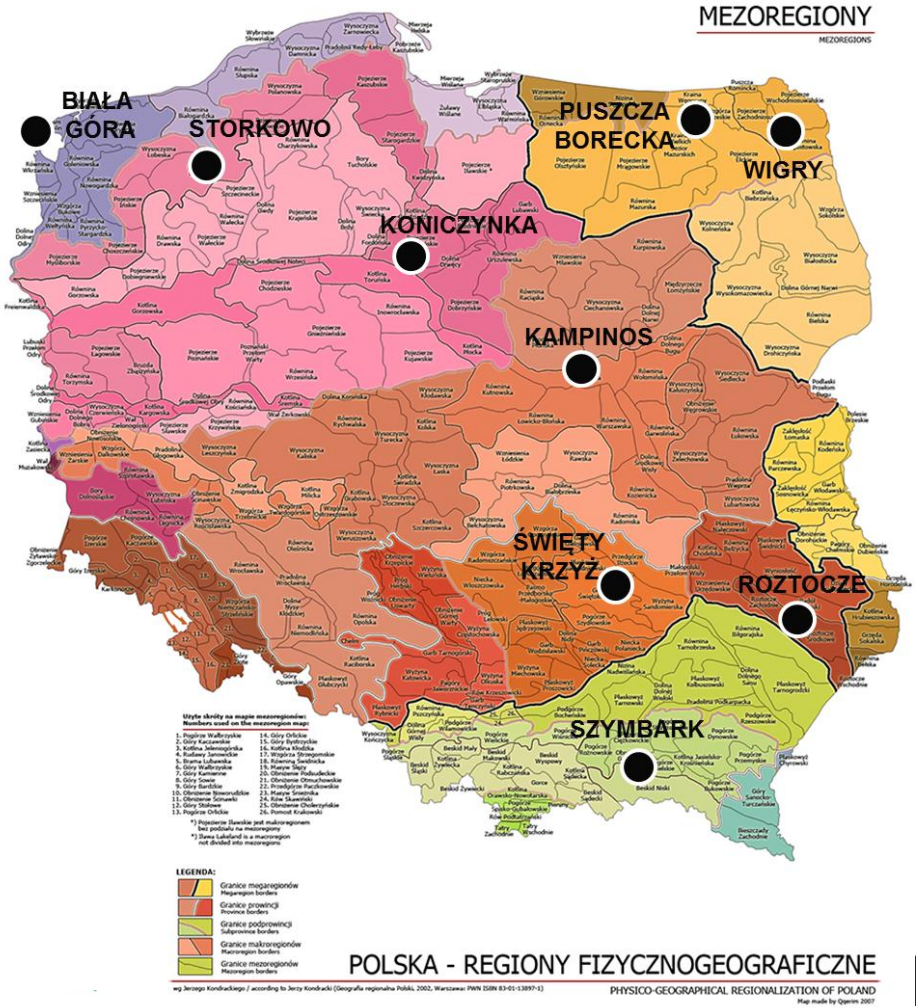
- funkcjonuje w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska,
- a jego zadaniem jest monitoring ekosystemów w różnych typach krajobrazu Polski.

Monitoring w ramach programu ZMŚP obejmuje:

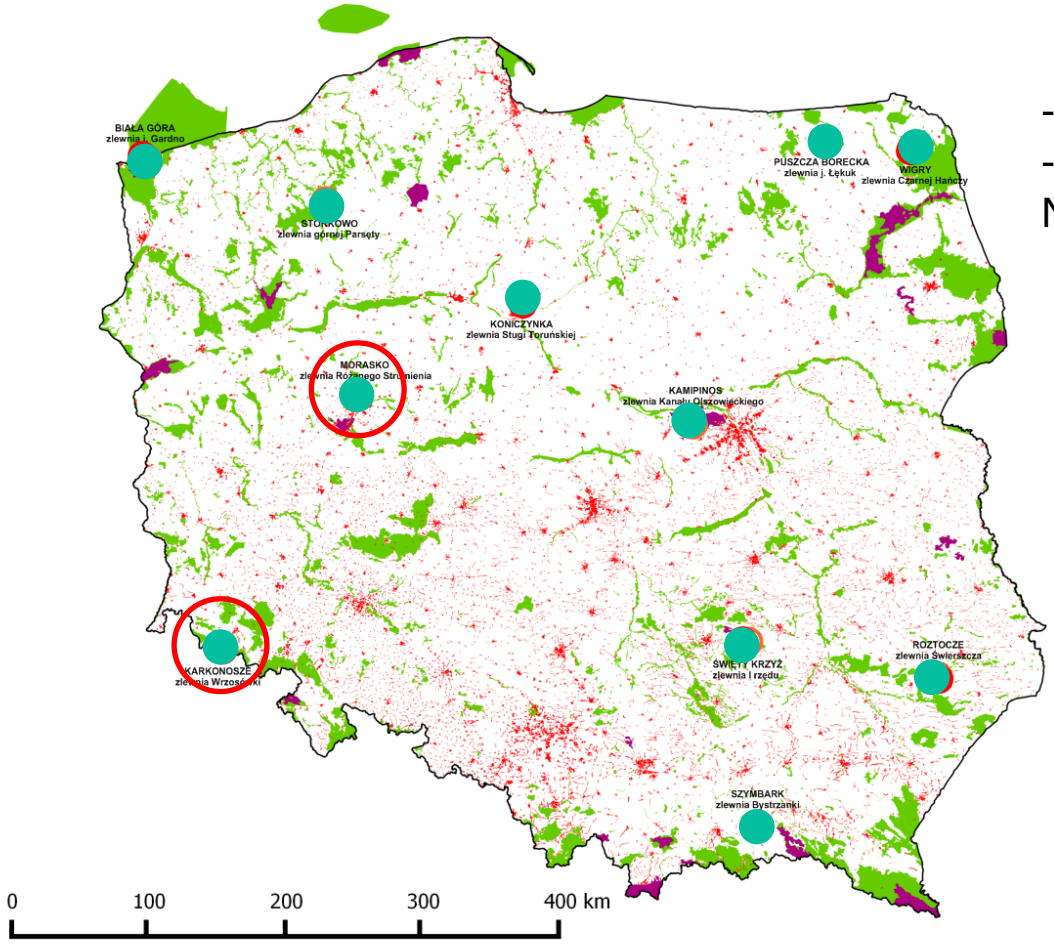
- elementy obiegu energii i materii w zlewni rzecznej,
- bioindykację oraz monitoring bioróżnorodności,
- oraz ich wzajemne powiązania oraz relacje.

Zlewnie badawcze ZMŚP

Zlewnia	Powierzchnia [km^2]	Zlewnia/ Dorzecze	Mezoregion fizycznogeograficzny
Jez. Gardno	2,6	Morze Bałtyckie	Uznam i Wolin
Parsęta	74,0	Parsęta	Pojezierze Drawskie
Jez. Łękuk	13,3	Węgorapa /Pregoła	Kraina Wielkich Jezior
Czarna Hańcza	7,4	Niemen	Równina Augustowska
Struga Toruńska	35,2	Wisła	Pojezierze Chełmińskie
Kanał Olszowiecki	20,2	Łasica/Wisła	Kotlina Warszawska
Zlewnia I rzędu	1,3	Kamienna/Wisła	Góry Świętokrzyskie
Bystrzanka	13,0	Ropa/Wisła	Beskid Niski / Pogórze Ciężkowickie Doły Jasielsko-Sanockie
Świerszcz	46,5	Wieprz/Wisła	Roztocze Zachodnie/ Roztocze Środkowe



Zlewnie badawcze ZMŚP od roku 2015 a obszary chronione



- 6 zlewni w Parkach Narodowych
- 8 zlewni w zasięgu obszarów Natura 2000

Cele ZMŚP

Celem ZMŚP jest:

- dostarczenie danych do określania aktualnego stanu środowiska oraz jego diagnoza;
- identyfikacja tendencji jego zmian
- przedstawienie krótko i długookresowych prognoz przemian środowiska w warunkach zmian klimatu i zmian antropopresji.

Uzyskane z sieci pomiarowych wyniki stanowią podstawę do sporządzenia **prognoz rozwoju środowiska przyrodniczego** oraz **identyfikacji typów i tendencji zagrożeń** oraz **sposobów przeciwdziałania** ich negatywnym skutkom.

Jednym z wykorzystywanych narzędzi w ZMŚP jest **model SWAT**.

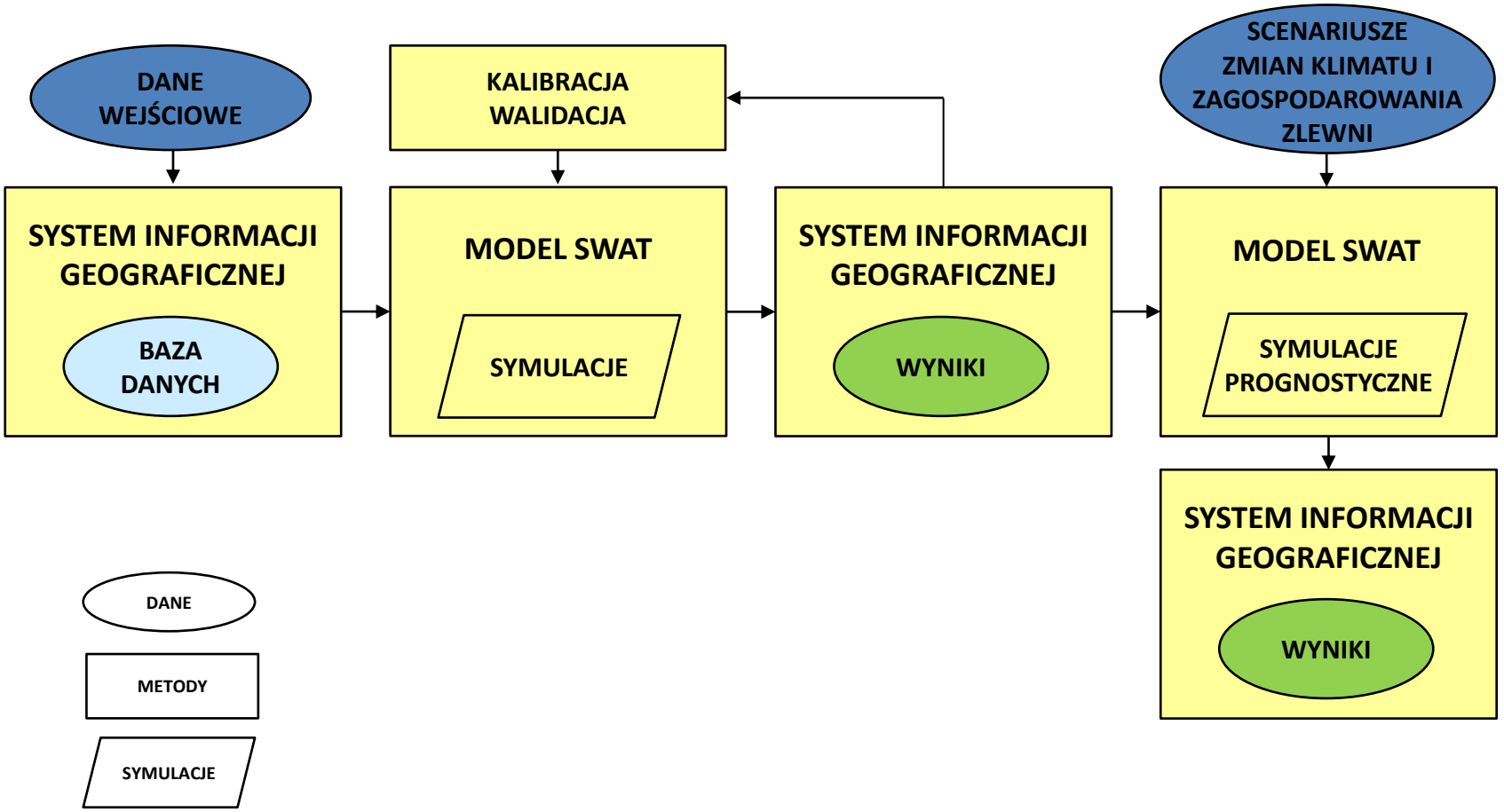
Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

- SWAT jest modelem ciągłego czasu, operującym w skali zlewni rzecznej dla dobowego kroku obliczeń;
- Został zaprojektowany do prognozowania wpływu zmian zagospodarowania zlewni (użytkowanie terenu, agrotechnika, melioracje, urbanizacja, itp.) na bilans wody, osadów i biogenów, oraz różnorodnych zanieczyszczeń;
- Umożliwia także wszechstronne uwzględnienie zmian klimatycznych;
- Głównymi składowymi SWAT są: pogoda, hydrologia, temperatura i właściwości gleb, wegetacja roślin, biogeny, pestycydy, bakterie i patogeny oraz użytkowanie terenu.
- Model ma charakter fizyczny (deterministyczny), a ze względu na wysoką efektywność obliczeniową umożliwia wykonywanie ciągłych symulacji dla długich przedziałów czasu;
- Model jest zintegrowany z GIS w oprogramowaniu ArcGIS oraz MapWindow;

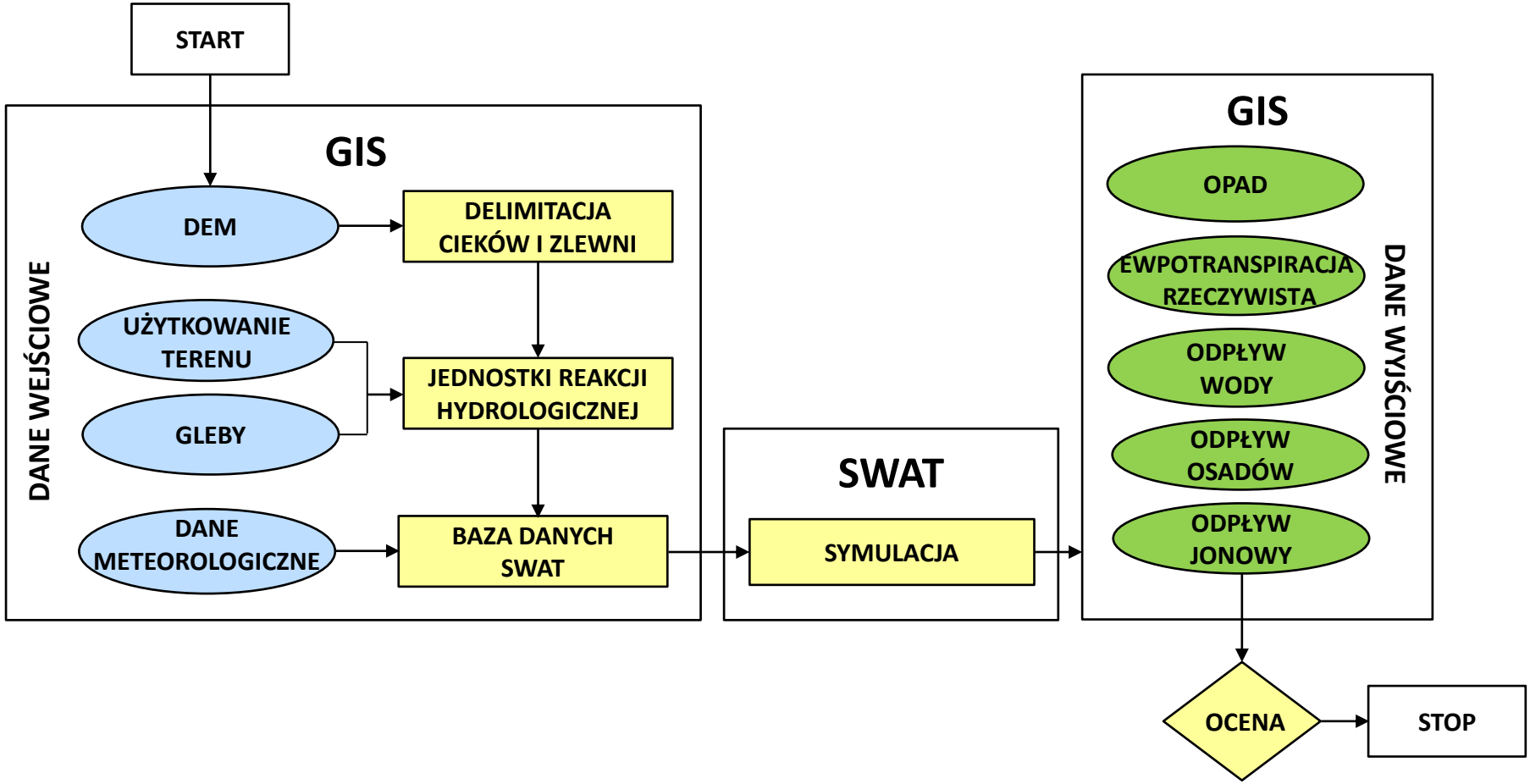
Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

- SWAT jest ciągle rozwijany od 20 lat (Gassman i in. 2007), a jego korzenie tkwią w początkach lat 80-tych ubiegłego wieku; obecna wersja (SWAT 2012) jest ósmą z kolei;
- Model był używany i testowany w setkach lokalizacji na wszystkich kontynentach, praktycznie w każdych warunkach klimatycznych i glebowych;
- SWAT był także szeroko używany w Europie, również w ramach projektów finansowanych przez różne agencje Komisji Europejskiej; między innymi w porównaniu z 8 innymi modelami w 17 różnych zlewniach europejskich (Gassman i in. 2007);
- W Polsce SWAT wykorzystywany był m.in. w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW 2010) oraz w innych ośrodkach naukowych (Bogdanowicz i in. 2010; Brzozowski i in. 2011; Hejduk 2011; Stach 2011; Ostojski i in. 2012; Piniewski 2012; Gudowicz 2014).

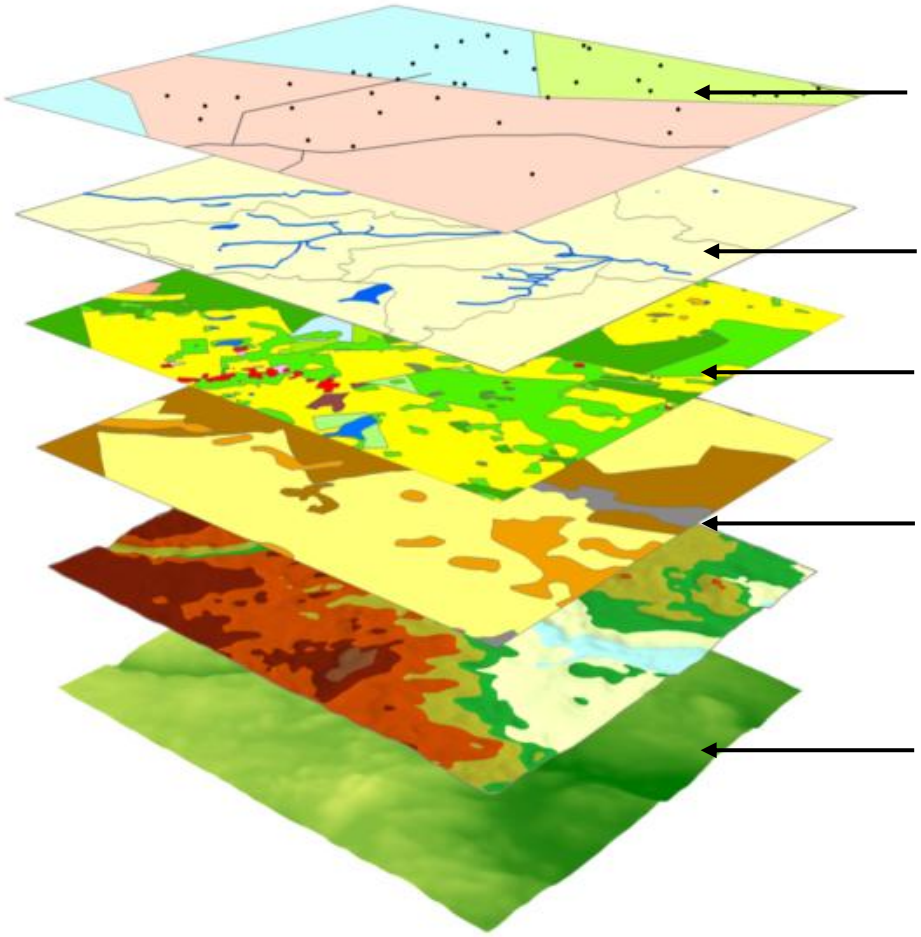
Integracja modelu SWAT z GIS



Etapy pracy w skalibrowanym modelu SWAT



Dane wejściowe w SWAT



Dane meteorologiczne: bazy danych m.in. IMGW, ZMŚP, NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR)

Sieć hydrograficzna: Mapa Podziału Hydrograficznego Polski, Mapa Hydrograficzna Polski

Pokrycie terenu i użytkowanie ziemi: mapy projektu Corine Land Cover

Gleby: mapy Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG), bazy danych Harmonized World Soil Database oraz Soil Map of the World (FAO/UNESCO)

Cyfrowy model wysokościowy: Numeryczny Model Terenu Bazy Danych Topograficznych (TBD), Digital Terrain Elevation Data Level 2 (DTED2), Aster GDEM, Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)

Dane wejściowe w SWAT

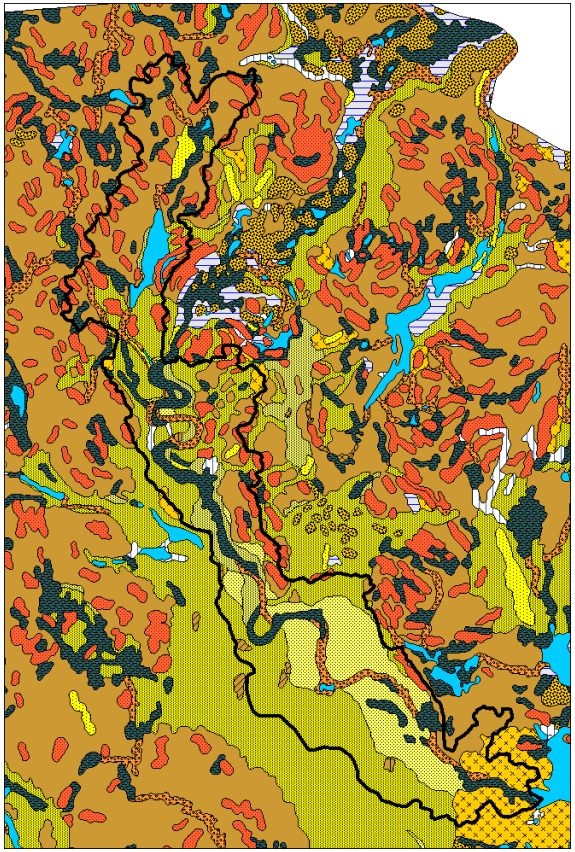
Problem glebowych materiałów kartograficznych i klasyfikacji gleb.

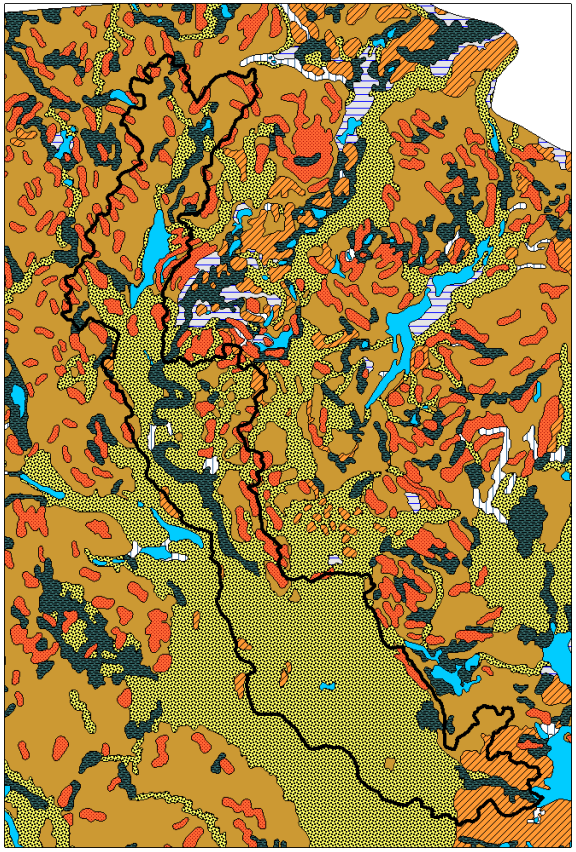
Zasady przekodowania kategorii z arkuszy Szczecinek i Barwice Szczegółowej Mapy geologicznej Polski (SMGP) na kalsy FAO wykorzystywane w symulacjach SWAT.

SNAM	HYDGRP	TEXTURE	Polska Norma	Kategorie SMGP
C	D	Clay	Ił	3
CL	C	Clay loam	Glina ilasta	
L	B	Loam	Glina zwykła	1,2,4
LS	A	Loamy sand	Piasek gliniasty	8,12,15,16,17,18,21
S	A	Sand	Piasek słabogliniasty, piasek luźny	6,7,9,10,11,19
SC	B	Sandy clay	Ił piaszczysty	
SCL	B	Sandy clay loam	Glina piaszczysto-ilasta	
SI	C	Silt	Pył zwykły	
SIC	C	Silty clay	Ił pylasty	5,22,23
SICL	C	Silty clay loam	Glina pylasto-ilasta	
SIL	C	Silt loam	Pył gliniasty, pył ilasty	
SL	B	Sandy loam	Glina lekka, piaszczysta	13,14,20
WA	D	Water	Woda	24

Dane wejściowe w SWAT

Problem glebowych materiałów kartograficznych i klasyfikacji gleb.





Cyfrowe dane litologiczno-glebowe dla zlewni Czarnej Hańczy: po lewej powierzchniowa mapa geologiczna w skali 1 : 200 000, a po prawej utworzona na jej podstawie mapa litologiczna z wydzieleniami zgodnymi z klasyfikacją FAO.

Dane wejściowe w SWAT

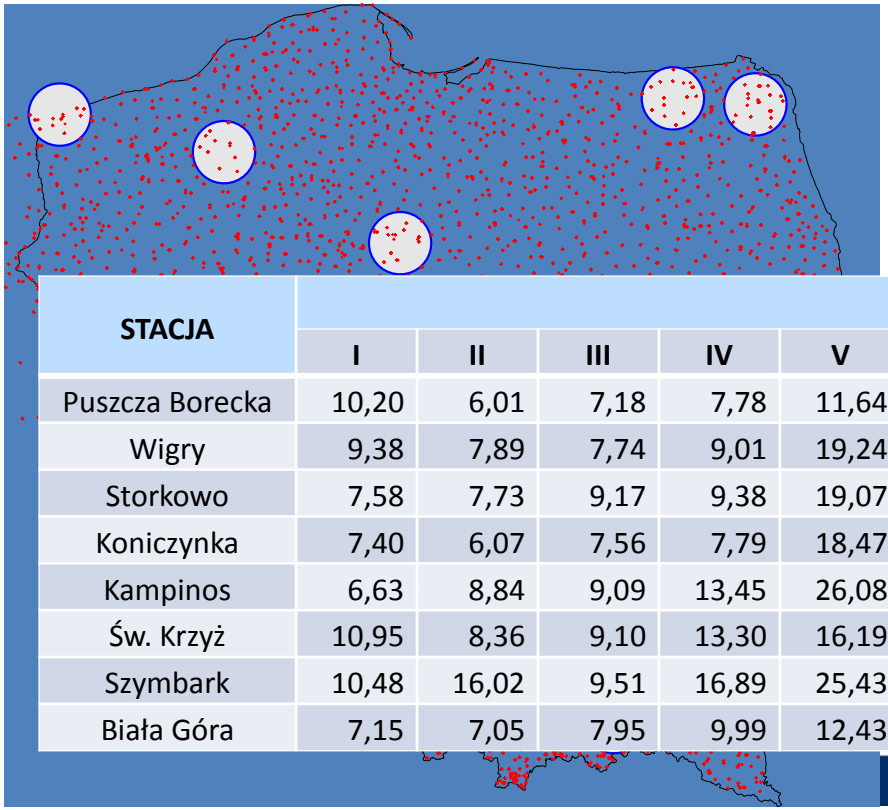
Problem przygotowania meteorologicznych danych pomiarowych do wykonywania symulacji SWAT związany z zastosowaniem niestandardowych wskaźników klimatycznych.

Wymagane przez model charakterystyki meteorologiczne z wielolecia:

- **TMPMX** – średnia miesięczna maksimów dobowych temperatury powietrza
- **TMPMN** – średnia miesięczna minimów dobowych temperatury powietrza
- **TMPSTDMX** – odchylenie standardowe **TMPMX**
- **TMPSTDMN** – odchylenie standardowe **TMPMN**
- **PCPMM** – średnia suma opadów miesięcznych
- **PCPSTD** – odchylenie standardowe **PCPMM**
- **PCPSKW** – skośność **PCPMM**
- **PR_W1** – prawdopodobieństwo dnia z opadem po dniu bez opadu w miesiącu
- **PR_W2** – prawdopodobieństwo dnia z opadem po dniu z opadem w miesiącu
- **PCPD** – średnia liczba dni z opadem w miesiącu
- **RAINHHMAX** – suma maksymalnego 0,5 godzinnego opadu w miesiącu
- **SOLARV** – średnie dobowe promieniowanie słoneczne w miesiącu
- **DEWPT** – średnia miesięczna temperatura punktu rosy lub wilgotność względna (opcjonalnie)
- **WINDAV** – średnia dobowa prędkość wiatru w miesiącu

Dane wejściowe w SWAT

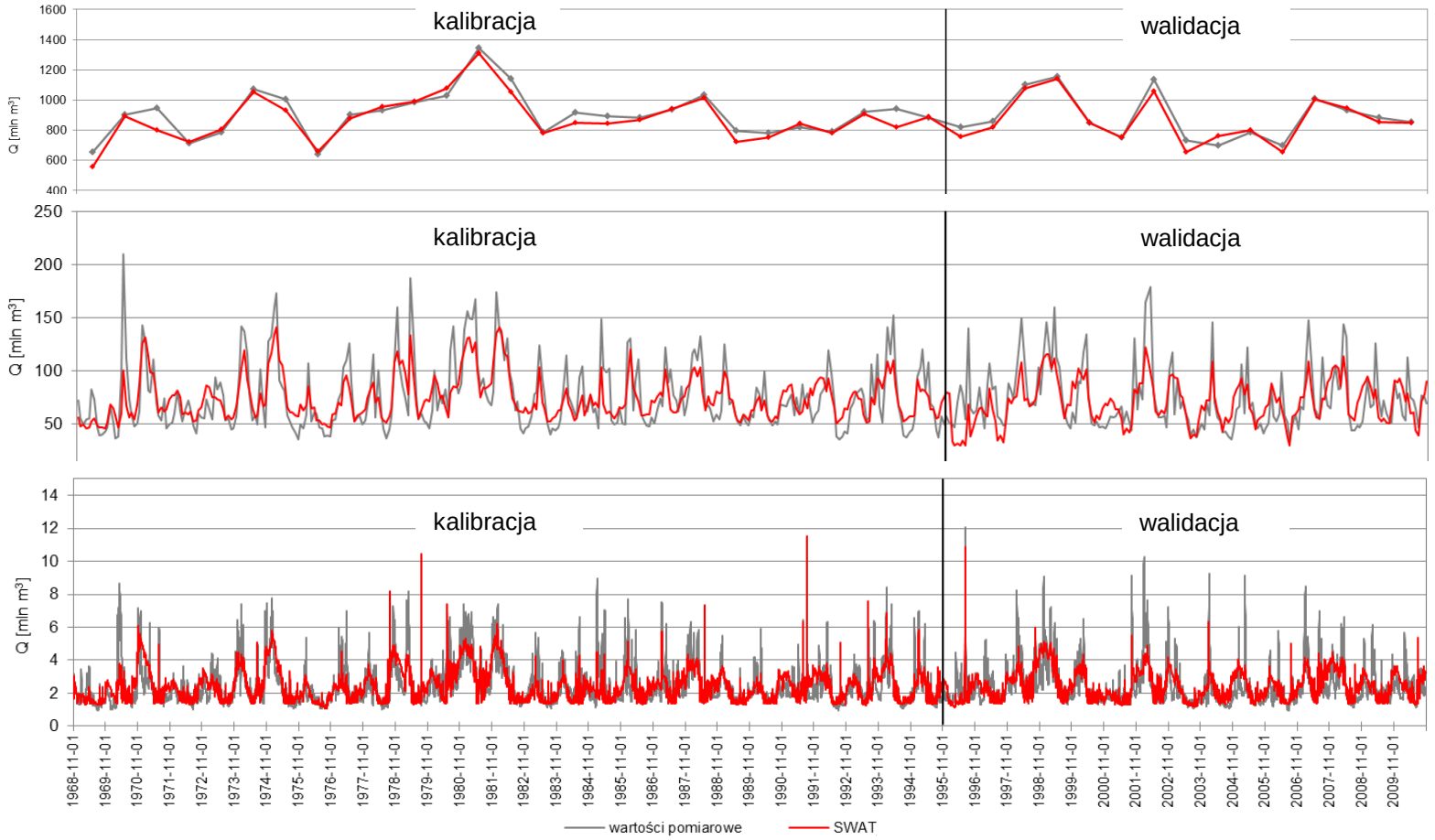
Problem przygotowania meteorologicznych danych pomiarowych do wykonywania symulacji SWAT związany z zastosowaniem niestandardowych wskaźników klimatycznych.



Suma maksymalnego 0,5 godzinnego opadu w miesiącu w stacjach bazowych ZMŚP (Stach 2011).

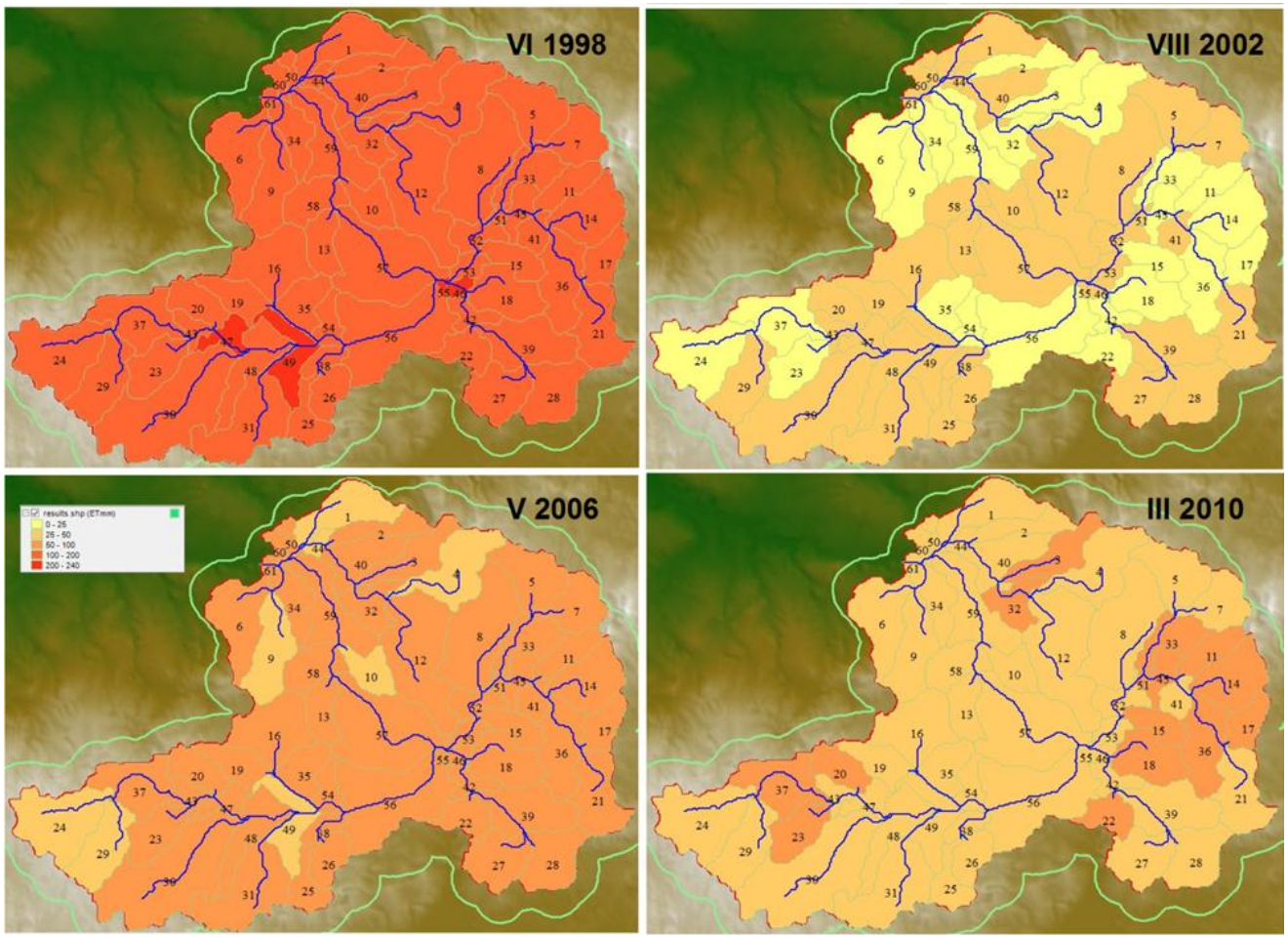
STACJA	MIESIĄCE											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Puszcza Borecka	10,20	6,01	7,18	7,78	11,64	17,84	20,47	22,84	17,47	19,96	9,32	9,13
Wigry	9,38	7,89	7,74	9,01	19,24	21,35	25,09	22,86	16,61	19,61	12,26	7,62
Storkowo	7,58	7,73	9,17	9,38	19,07	25,83	23,51	20,69	13,32	10,91	10,36	9,71
Koniczynka	7,40	6,07	7,56	7,79	18,47	28,05	24,05	18,22	14,64	12,04	9,51	6,41
Kampinos	6,63	8,84	9,09	13,45	26,08	26,18	25,36	22,80	15,58	22,01	11,73	9,88
Św. Krzyż	10,95	8,36	9,10	13,30	16,19	26,11	28,46	21,64	18,33	14,45	9,10	10,97
Szymbark	10,48	16,02	9,51	16,89	25,43	35,00	31,89	30,21	14,78	17,51	13,52	12,94
Biała Góra	7,15	7,05	7,95	9,99	12,43	14,42	16,17	25,30	13,18	13,41	11,62	8,15

Wyniki symulacji modelu SWAT w postaci serii czasowych



Porównanie zmierzonych i symulowanych wartości odpływu wody ze zlewni Parsęty.

Wyniki symulacji modelu SWAT w postaci kartograficznej

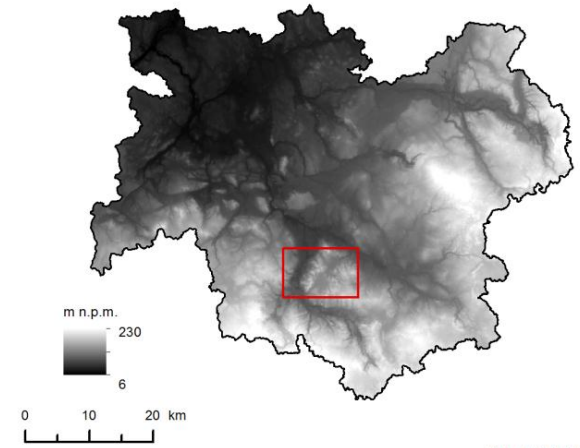


Cztery przykładowe klatki animacji wyników symulacji „bazowej” ewapotranspiracji rzeczywistej w zlewni Parsęty.

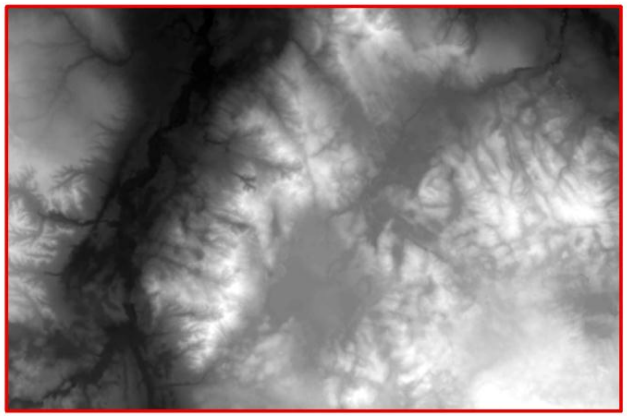
Wpływ jakości danych wejściowych na wyniki symulacji modelu SWAT

- W procesie każdego modelowania dąży się do uzyskania równowagi pomiędzy kompletnością i szczegółowością modelu a jego użytecznością.
- Wielowymiarowe modele hydrologiczne, w tym model SWAT, gdzie każdy proces składowy obiegu energii i materii opisywany jest za pomocą odrębnego operatora obejmują bardzo dużą liczbę parametrów.
- Dzięki systemom informacji geograficznej możliwe jest proste powtarzanie procesu generowania i zmiany tych parametrów na wejściu do modelu (iteracje symulacji).
- Systemy informacji geograficznej umożliwiają więc szczegółową analizę wpływu poszczególnych parametrów na ostateczne wyniki modelowania i wybór najbardziej optymalnej struktury modelu dla analizowanych warunków fizycznogeograficznych zlewni.

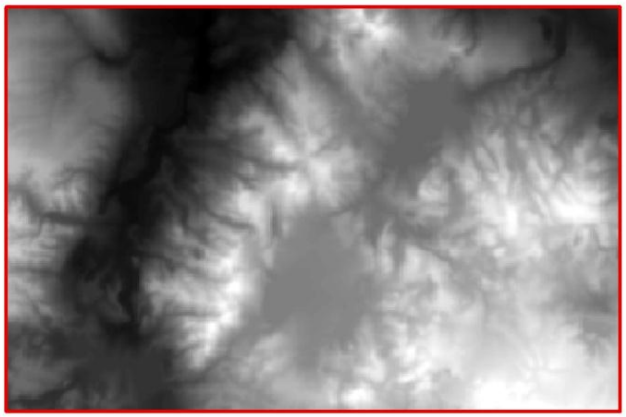
Wpływ jakości danych wejściowych na wyniki symulacji modelu SWAT – DEM



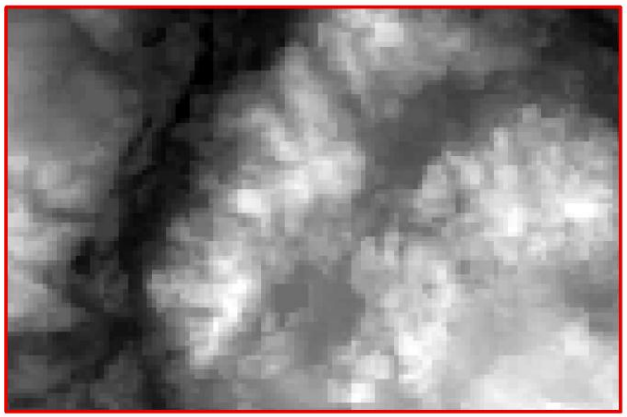
DEM 10 m



DEM 30 m

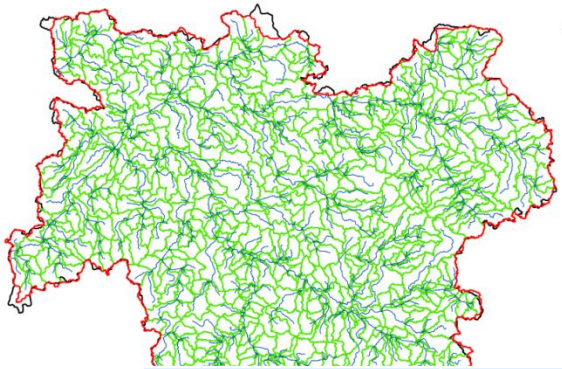


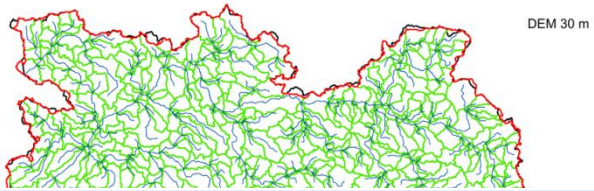
DEM 90 m

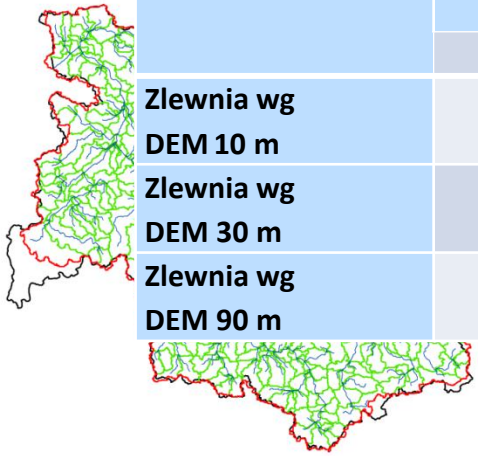


Porównanie rozdzielczości cyfrowych modeli wysokościowych.
Źródła DEM:
DEM 10 m – utworzony na podstawie interpolacji wartości poziomic map topograficznych w skali 1:10 000;
DEM 30 m – pozyskany z danych *Digital Terrain Elevation Data Level 2* (DTED2);
DEM 90 m – pozyskany z danych *NASA Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM Version 4).

Wpływ jakości danych wejściowych na wyniki symulacji modelu SWAT – DEM



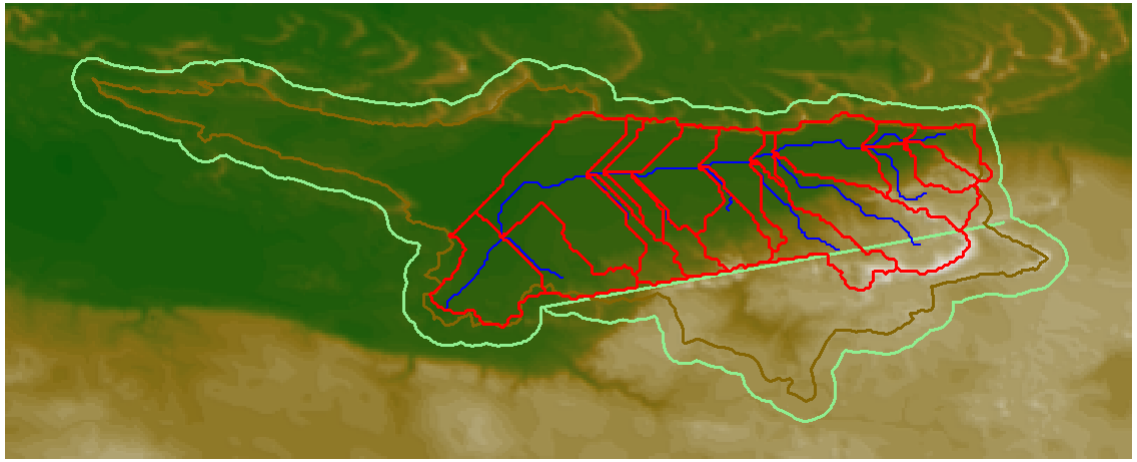




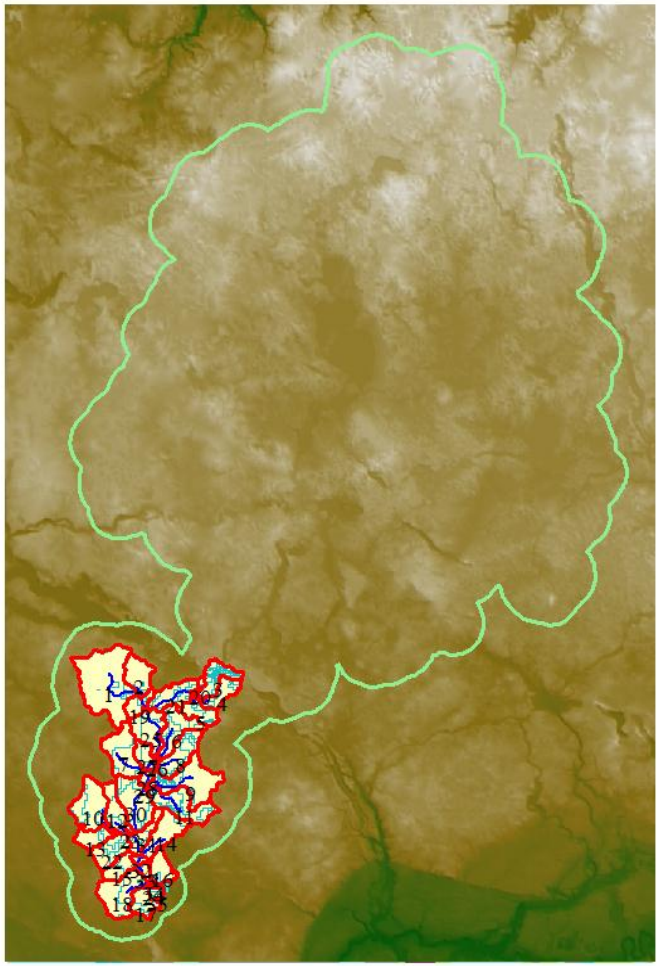
Jednostka	Powierzchnia zlewni	Różnica powierzchni zlewni w porównaniu do MPHP	Ilość zlewni cząstkowych	Długość cieków	Gęstość cieków
	[km^2]	[%]	-	[km]	[km km^{-2}]
Zlewnia wg DEM 10 m	2843,2	0,5	810	1720,1	0,6
Zlewnia wg DEM 30 m	2851,3	0,8	768	1605,8	0,6
Zlewnia wg DEM 90 m	2770,3	3,3	664	1466,9	0,5

Delimitacja cieków i zlewni cząstkowych.

Wpływ jakości danych wejściowych na wyniki symulacji modelu SWAT – DEM

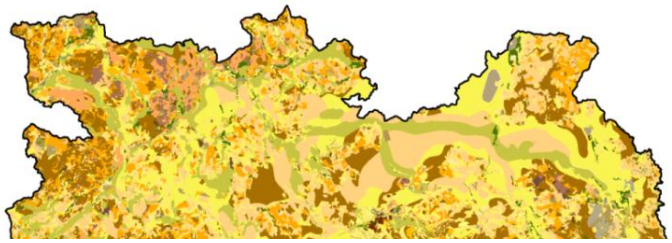


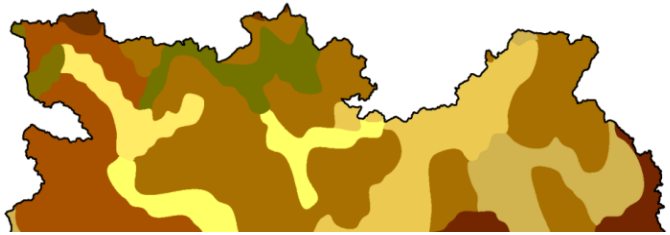
Zlewnia reprezentatywna
Kanału Olszowieckiego.

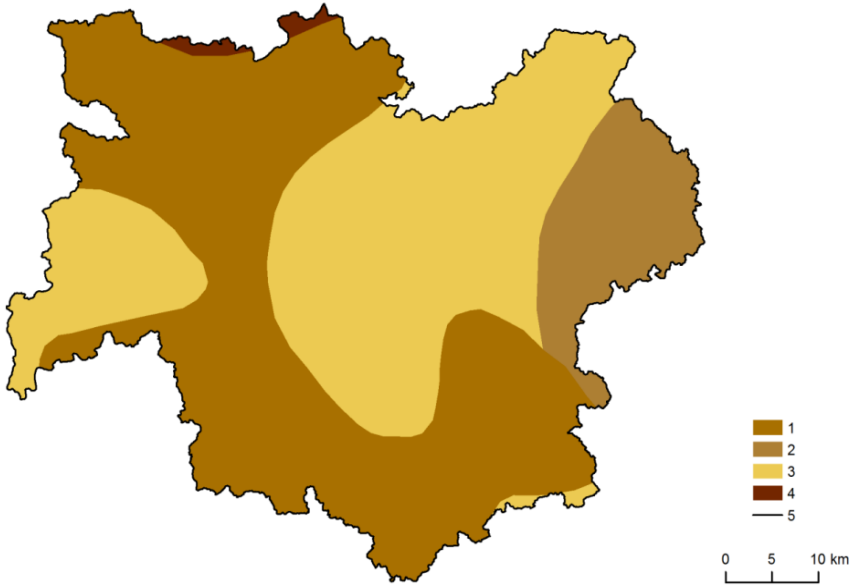


Zlewnia reprezentatywna
Strugi Toruńskiej.

Wpływ jakości danych wejściowych na wyniki symulacji modelu SWAT – gleby







Grupy granulometryczne zlewni Parsęty na podstawie danych bazy IUNG oraz map geologicznych.
1 – piasek luźny (pl); 2 – piasek luźny pylasty (plp); 3 – piasek słabo gliniasty (ps); 4 – piasek słabo gliniasty pylasty (psp); 5 – piasek gliniasty lekki (pgl); 6 – piasek

Jednostki glebowe zlewni Parsęty na podstawie danych z bazy Harmonized World Soil Database, HWSD.
1 – 10132; 2 – 10137; 3 – 10141; 4 - 10142; 5 – 10153; 6 – 10155; 7 – 10162; 8 – 10163; 9 – 10173; 10 – 10174; 11 – 10177; 12 – 10180; 13 – 10181; 14 – wododział zlewni

Jednostki glebowe zlewni Parsęty na podstawie danych z bazy FAO-UNESCO Digital Soil Map of the World.
1 – 3196; 2 – 3201; 3 – 3236; 4 – 6436; 5 – wododział zlewni

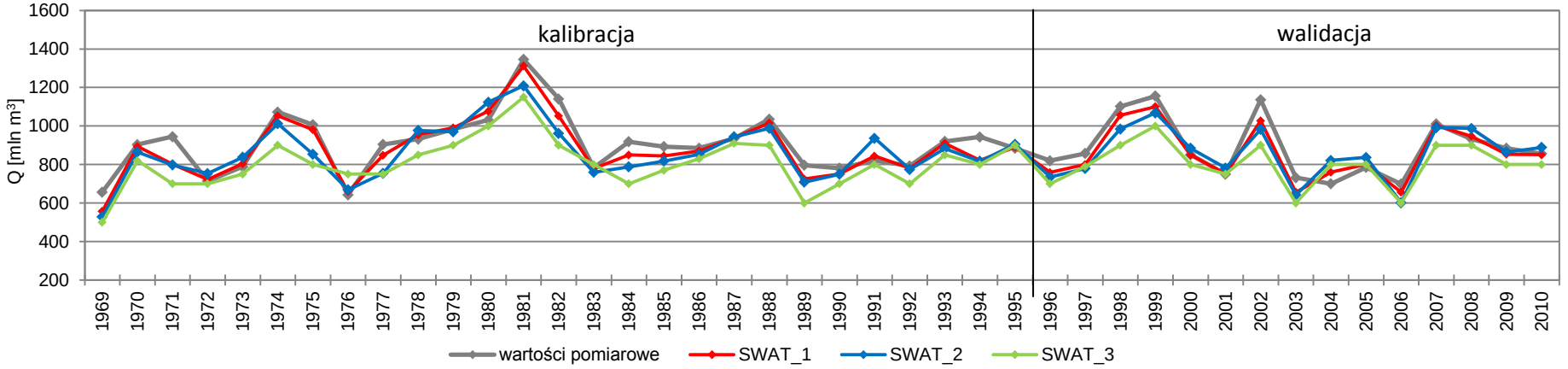
Wpływ jakości danych wejściowych na wyniki symulacji modelu SWAT

Statystyki oceny symulowanych rocznych wartości odpływu wody ze zlewni Parsęty.

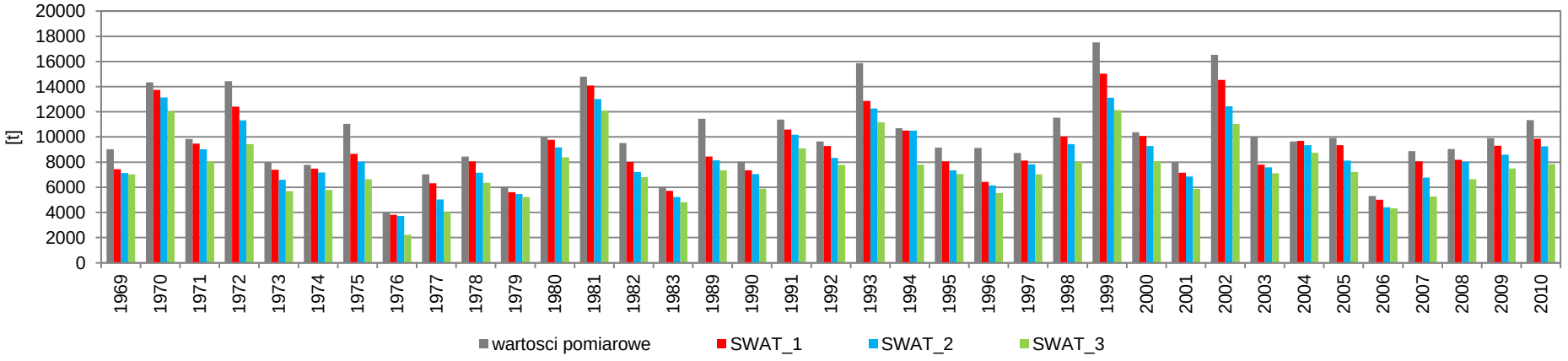
Wyniki roczne						
Projekt SWAT	Okres kalibracji			Okres walidacji		
	R^2	NSE	PBIAS	R^2	NSE	PBIAS
SWAT 1: DEM 10 m; gleby 1:25 000	0,83	0,77	3,15	0,82	0,76	3,97
SWAT 2: DEM 30 m; gleby 1:1 000 000	0,77	0,67	4,37	0,74	0,63	5,67
SWAT 3: DEM 90 m; gleby 1: 5000 000	0,60	0,50	10,60	0,59	0,50	12,57

R^2 – współczynnik determinacji
NSE – współczynnik efektywności modelu Nasha-Sutcliffa
PBIAS – współczynnik odchylenia procentowego

Wpływ jakości danych wejściowych na wyniki symulacji modelu SWAT



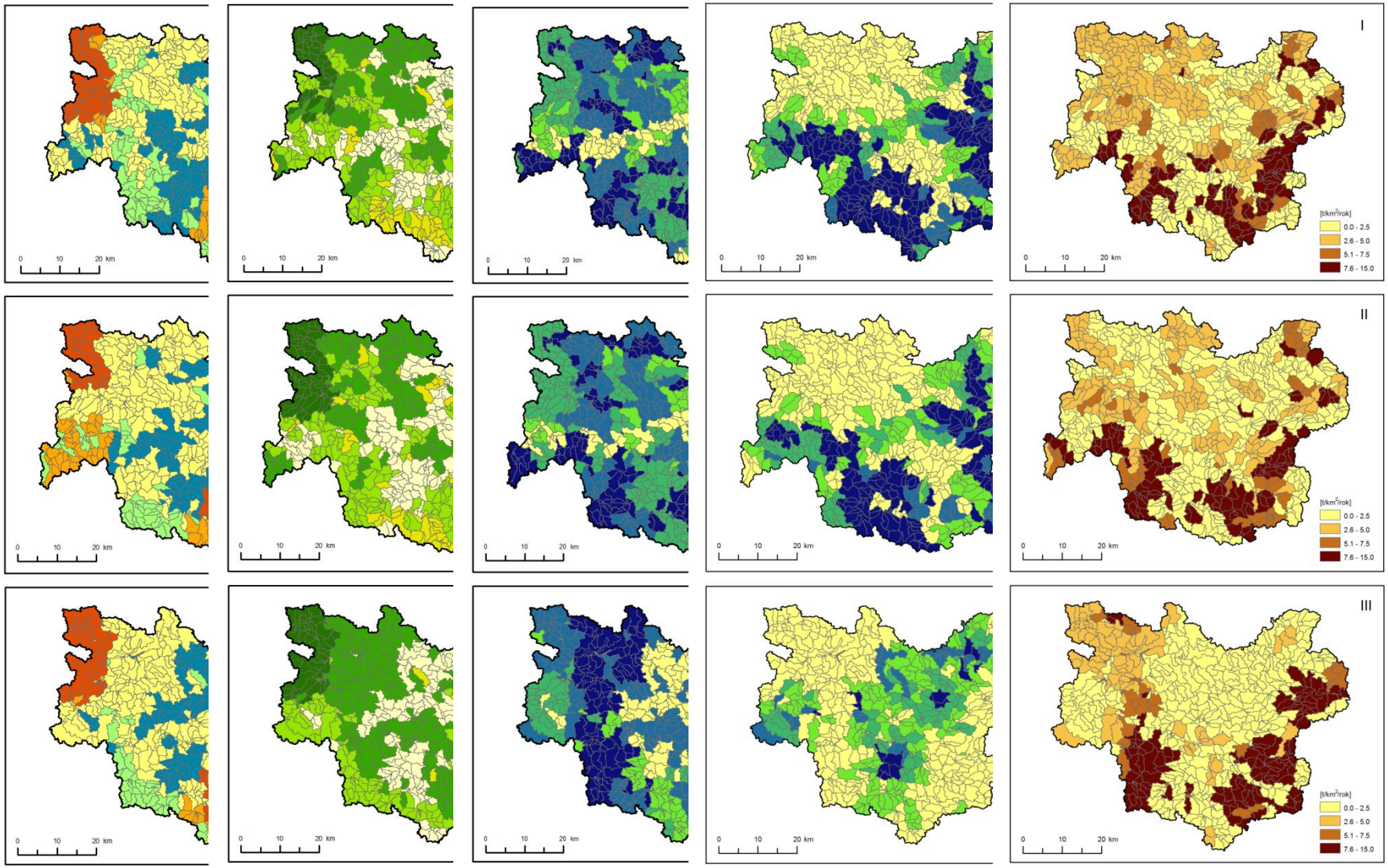
Porównanie pomiarowych i symulowanych wartości rocznego odpływu wody ze zlewni Parsęty.



Porównanie zmierzonych i symulowanych wartości rocznych ładunków materiału zawieszonego odprowadzanego ze zlewni Parsęty.

Średnie roczne wartości ewapotranspiracji rzeczywistej.

Średnie roczne wartości odpływu podpowierzchniowego.

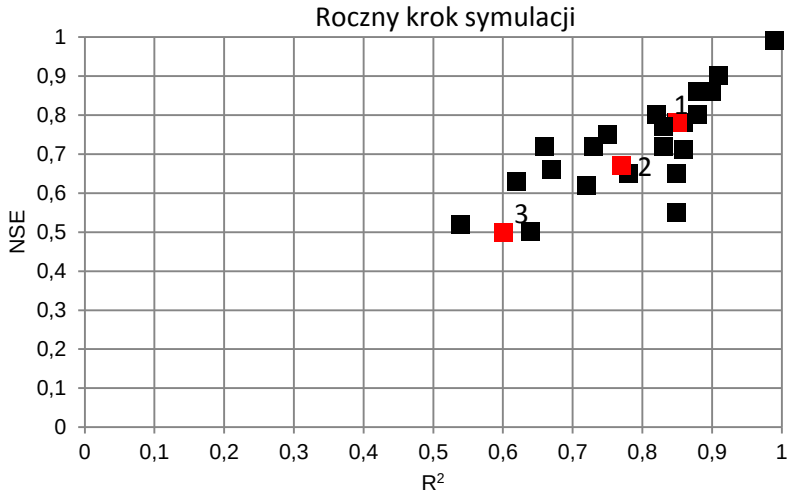


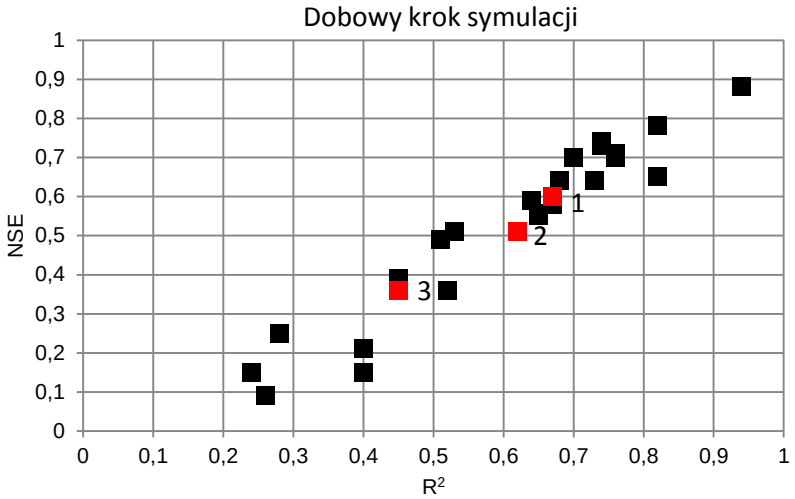
Średnie roczne wysokości odpływu wody.

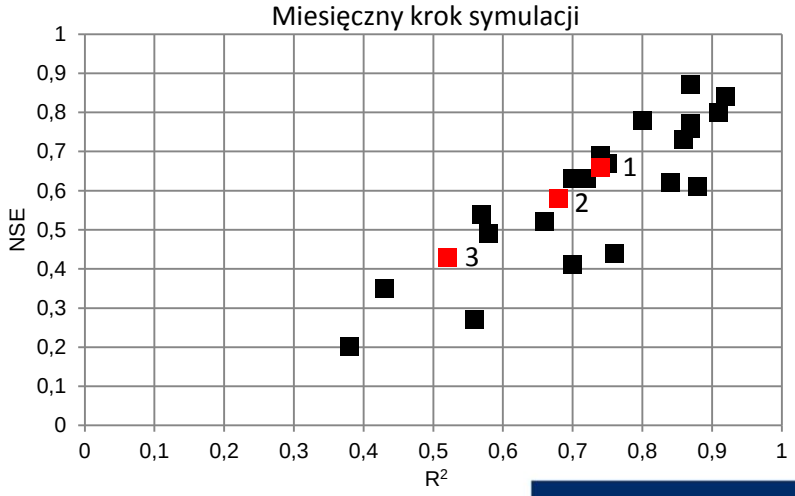
Średnie roczne wartości spływu powierzchniowego.

Średnia roczna wartość wskaźnika denudacji mechanicznej.

Wpływ jakości danych wejściowych na wyniki symulacji modelem SWAT







Współczynniki oceny projektów SWAT dla skalibrowanych wartości odpływu wody na tle wyników innych prac (Gassman i in., 2007; Douglas-Mankin i in., 2010).

1 – projekt SWAT_1; 2 – projekt SWAT_2; 3 – projekt SWAT_3

Wnioski

- Pełna integracja modelu SWAT z systemem informacji geograficznej ułatwia procedurę iteracyjnego generowania i zmiany parametrów wejściowych modelu.
- Jakość wyników symulacji była w znaczącym stopniu uzależniona od wykorzystanych danych wejściowych oraz od przyjętego kroku czasowego obliczeń.
- Określono jaki typ i rozdzielczość danych przestrzennych gwarantuje uzyskanie wyników symulacji na akceptowalnym poziomie zgodności z danymi rzeczywistymi.
- Bardzo dobra i dobra zgodność wartości symulowanych i obserwowanych uzyskana została dla rocznego i miesięcznego kroku obliczeń; dla kroku danych dobowych rezultaty dobre i zadowalające.
- Skalibrowany i zwalidowany model SWAT umożliwi badanie różnych scenariuszy rozwoju ekosystemów zlewni badawczych ZMŚP.

Dziękuję za uwagę