



Autokalibracja modelu SWAT w zlewni Narwi

Mikołaj Piniewski, Tomasz Okruszko

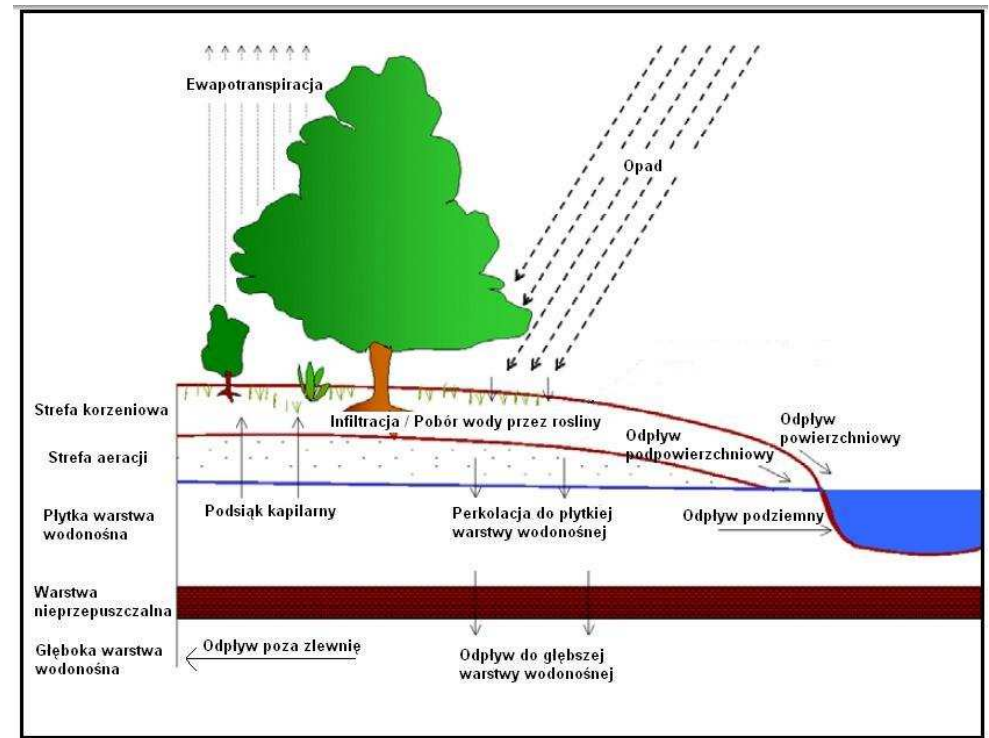
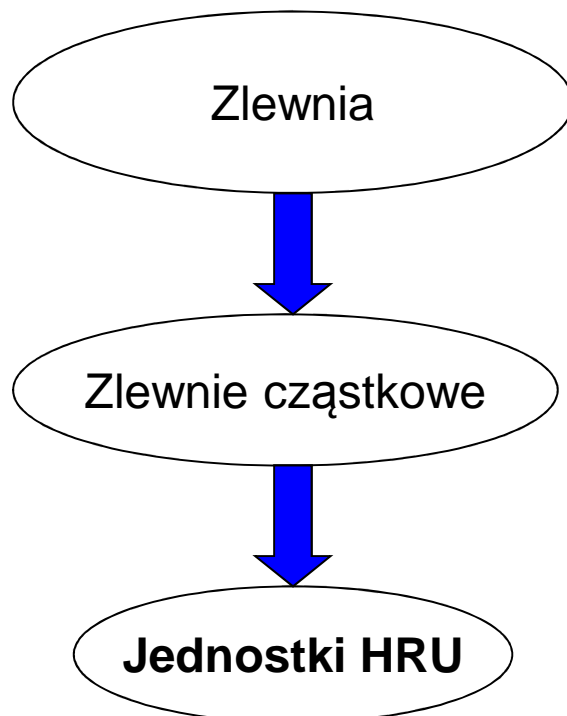
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW

Zakład Hydrologii i Zasobów Wodnych

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie, 19.01.2009

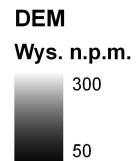
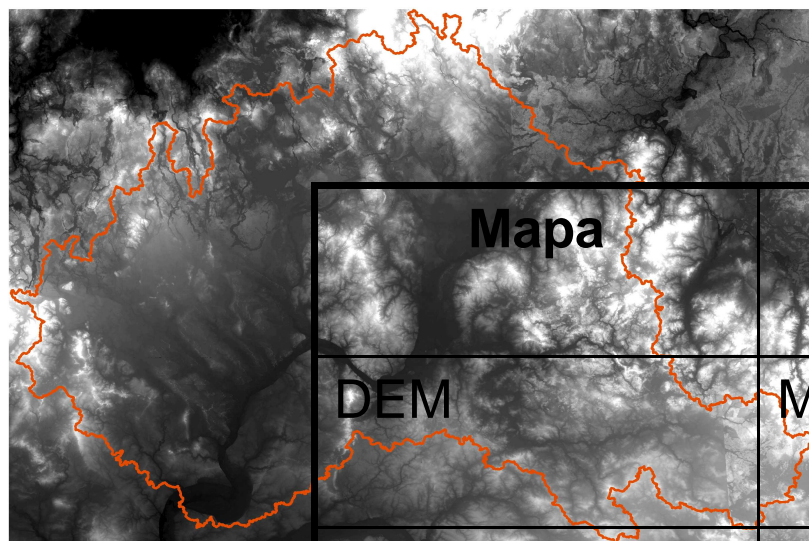
Charakterystyka modelu SWAT

- Model zlewniowy a nie rastrowy, całkowicie zintegrowany z GIS
- Model z czasem ciągłym (długą pamięcią)
- Domyślny krok obliczeniowy 1 doba
- Podstawa modelowania: równanie bilansu wodnego ujmujące najważniejsze składniki cyklu hydrologicznego
- HRU – najmniejsze jednostki przestrzenne, w których wykonywane są obliczenia, jednorodne pod względem roślinności, gleb i topografii

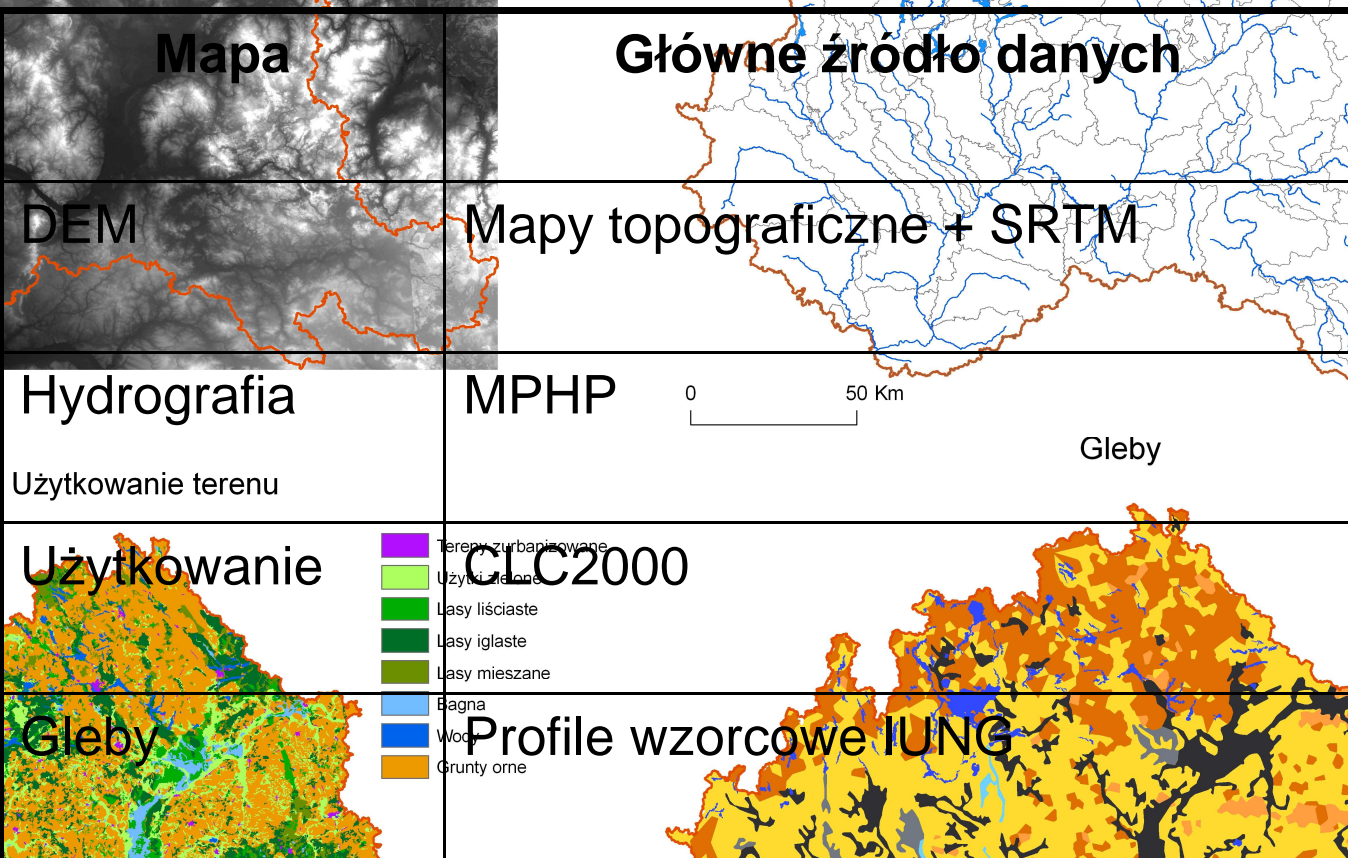


Numeryczny model terenu

Hydrografia



- Rzeki
- Jeziora
- Zlewnie cząstkowe
- Zlewnia



Główne źródło danych

Mapy topograficzne + SRTM

Użytkowanie

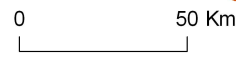
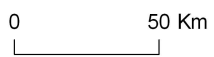
GLC2000

- Tereny zurbanizowane
- Użytki rolne
- Lasy liściaste
- Lasy iglaste
- Lasy mieszane
- Bagna
- Wody
- Grunty orne

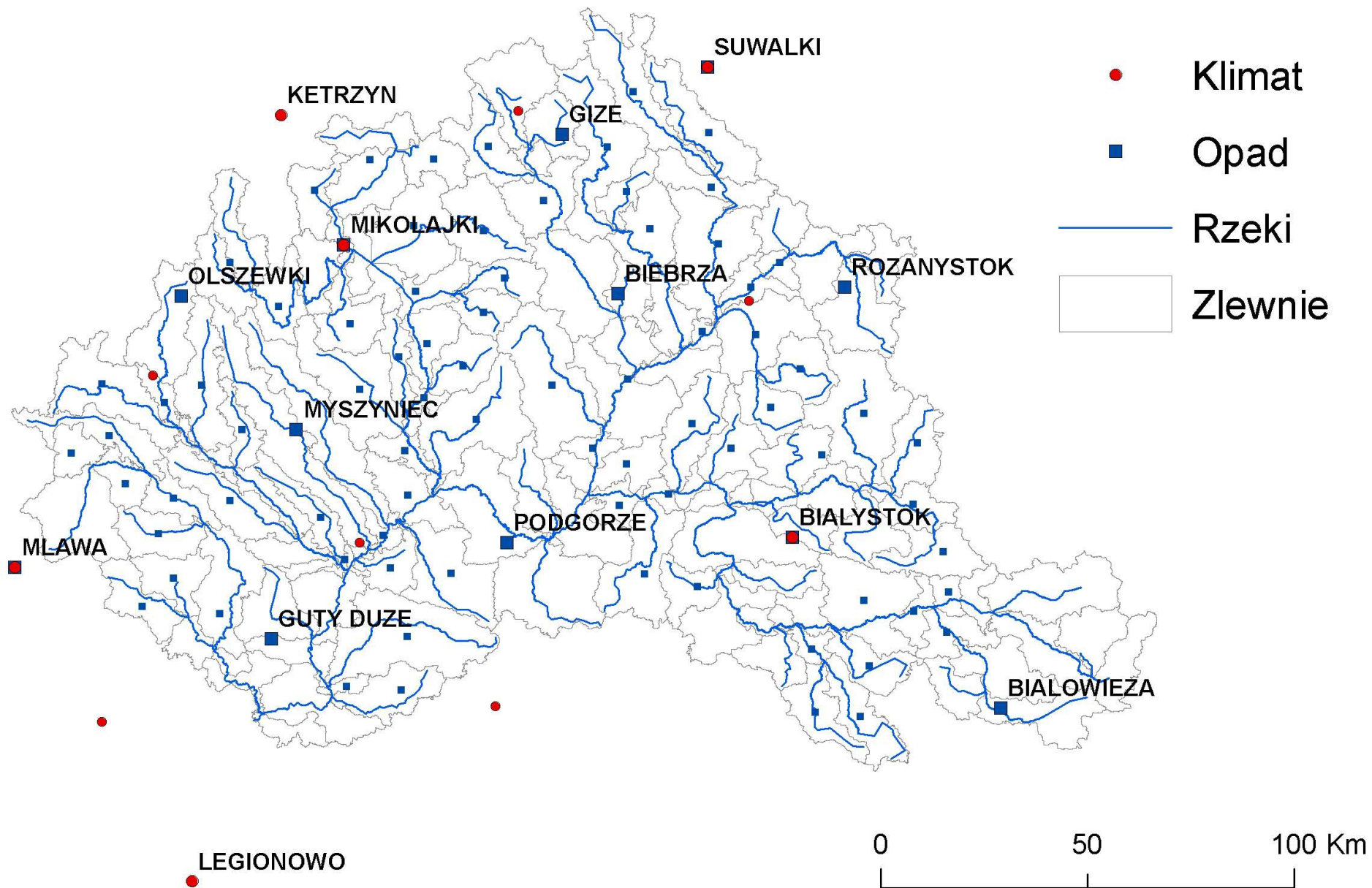
Gleby

Profile wzorcowe IUNG

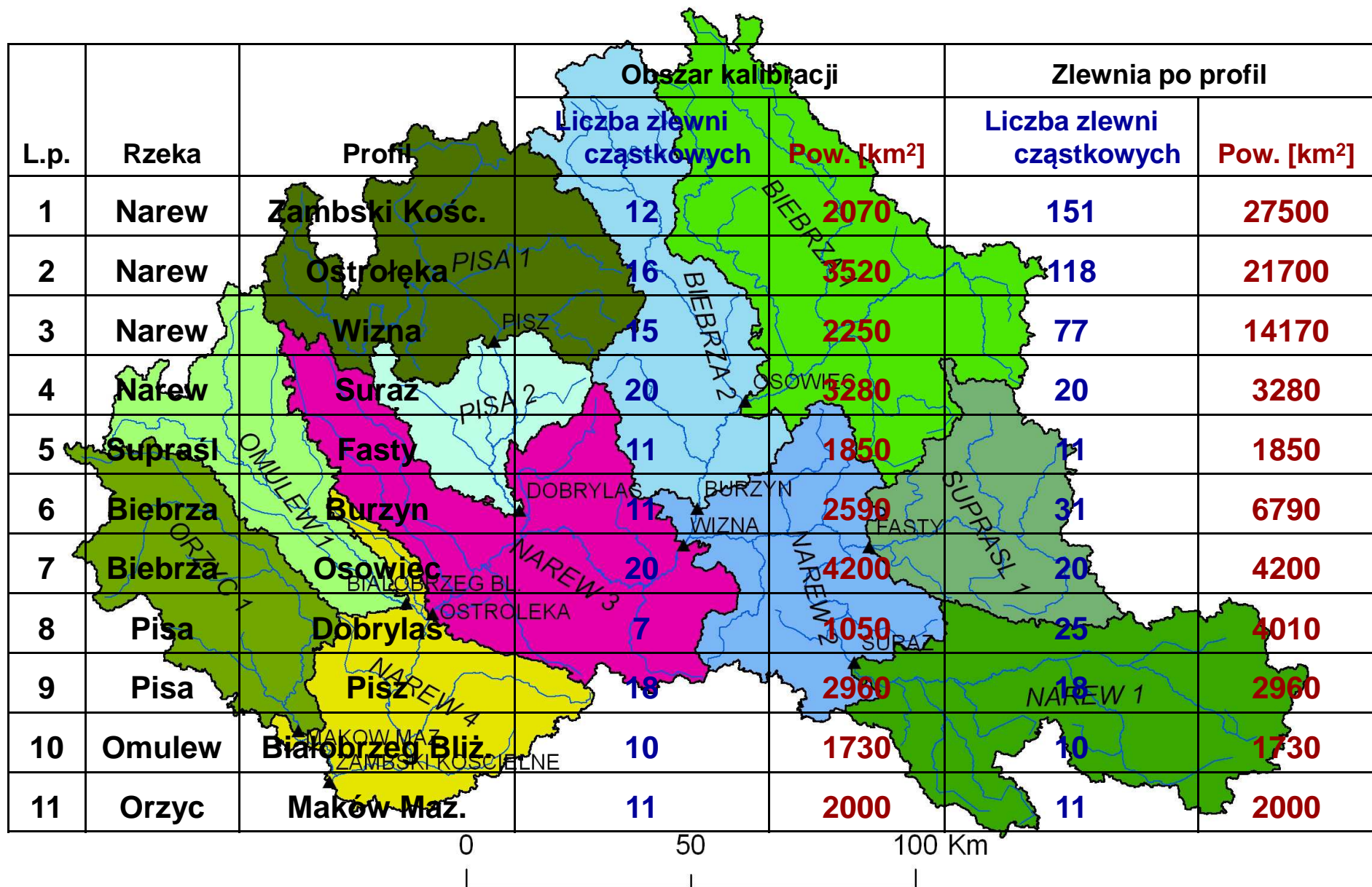
- Gliny
- Mady
- Mursze
- Piaski
- Pyły
- Torfy
- Wody



Lokalizacja posterunków meteorologicznych



Obszary kalibracji



Konfiguracja modelu – podsumowanie

- 151 zlewni cząstkowych (śr. pow. 180 km²) → 151 odcinków cieków
- 8 „zbiorników” przyporządkowanych zlewniom cząstkowym
- 8 klas pokrycia terenu, 27 klas glebowych
- 1131 jednostek HRU („odpowiedzi hydrologicznej”) – śr. pow. 24 km²
- Dane meteo
 - 12 posterunków opadowych (interpolacja do 88 punktów),
 - 6 posterunków klimatycznych: temperatura, wilgotność względna, prędkość wiatru (interpolacja do 11),
 - 1 posterunek z promieniowaniem (ekstrapolacja do 6).
- Okres „rozruchu” 1999-2000; okres symulacji 2001-2006
- Dobowy krok obliczeniowy
- Wybrane metody obliczeń poszczególnych procesów hydrologicznych
 - Ewapotranspiracja: **Penman-Monteith**, Priestley-Taylor, Hargreaves
 - Opad efektywny: **SCS CN**, Green-Ampt
 - Transformacja fali: **Variable storage**, Muskingam

SWAT name	Definition [unit]	Description	Lower bound	Upper bound	Categ.
ALPHA_BF *	Baseflow alpha factor [days]	Direct index of groundwater flow response to changes in recharge	0.01	0.06	Groundw.
BLAI *	Maximum potential leaf area index [-]	The ratio of total upper leaf surface of vegetation divided by the surface area of the land on which the vegetation grows	1.5	9	Crop
CH_N2	Manning's "n" value for the main channel	Manning's roughness coefficient for the channel flow	0.01	0.2	Channel
CN2 **	Initial SCS runoff curve number for moisture condition II [-]	The SCS curve numbers are functions of soil's permeability, land use and antecedent moisture conditions	27	100	Runoff
EPCO	Plant uptake compensation factor [-]	Value of EPCO determines whether the model allows more of the water uptake demand to be met by the lower soil layers or not	0	1	Evapor.
ESCO	Soil evaporation compensation factor [-]	Value of ESCO determines whether the model allows more of the soil evaporation to come from the lower layers or not	0	1	Evapor.
GWQMN	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur [mm]	Groundwater flow is allowed only if the amount of water in the shallow aquifer is equal to or greater than GWQMN	0	500	Groundw.
SLOPE **	Average slope steepness [m/m]	This parameter is used to calculate the overland flow time of concentration	0.0001	0.08	Runoff
SMTMP	Threshold temperature for snow melt [°C]	The base temperature above which snow melt is allowed	-0.5	2	Snow
SOL_AWC **	Available water capacity of the soil layer [mm mm ⁻¹]	The fraction of water present at field capacity minus the fraction of water present at permanent wilting point	0.05	0.44	Soil
SOL_K *	Saturated hydraulic conductivity [mm h ⁻¹]	Measure of the ease of water movement (in saturated conditions) through the soil	0.13	325	Soil
SURLAG	Surface runoff lag coefficient [days]	This parameter allows to lag a portion of the surface runoff release to the main channel	0	10	Runoff

* +/- 50% default value: ** +/- 25% default value

Autokalibracja - metodyka

- Metoda SCE-UA (*Shuffled Complex Evolution – Uncertainty Analysis*)
- Cechy:
 - podejście hybrydowe deterministyczno-probabilistyczne
 - systematyczna ewolucja kompleksu punktów z przestrzeni parametrów w kierunku globalnej poprawy
 - kompleksy ze sobą „rywalizują” – algorytm bazuje na metodzie sympleksu
 - okresowe „tasowanie” (*shuffling*) kompleksów pozwala na „dzielenie się informacją” i ominięcie lokalnych optimów

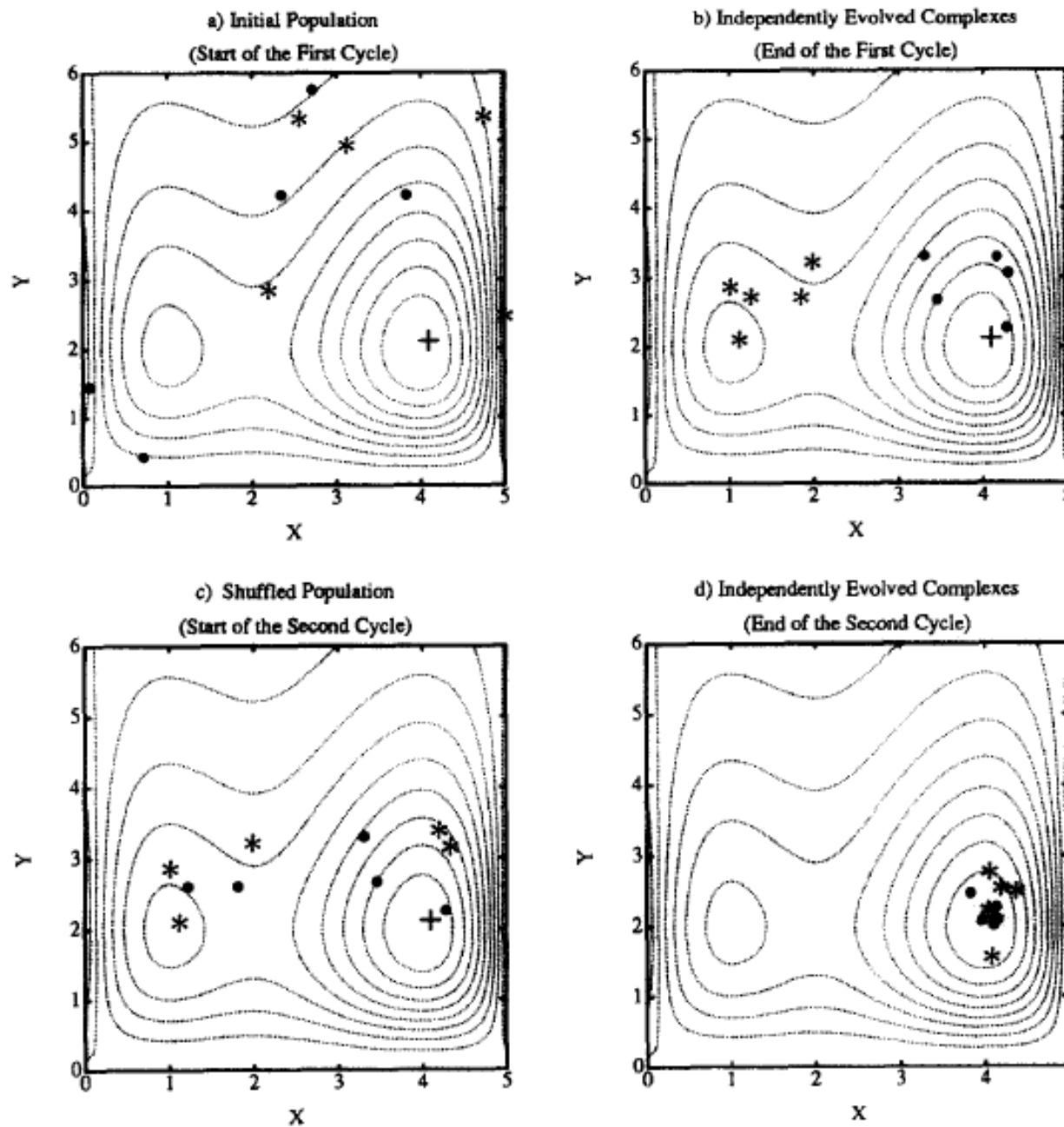
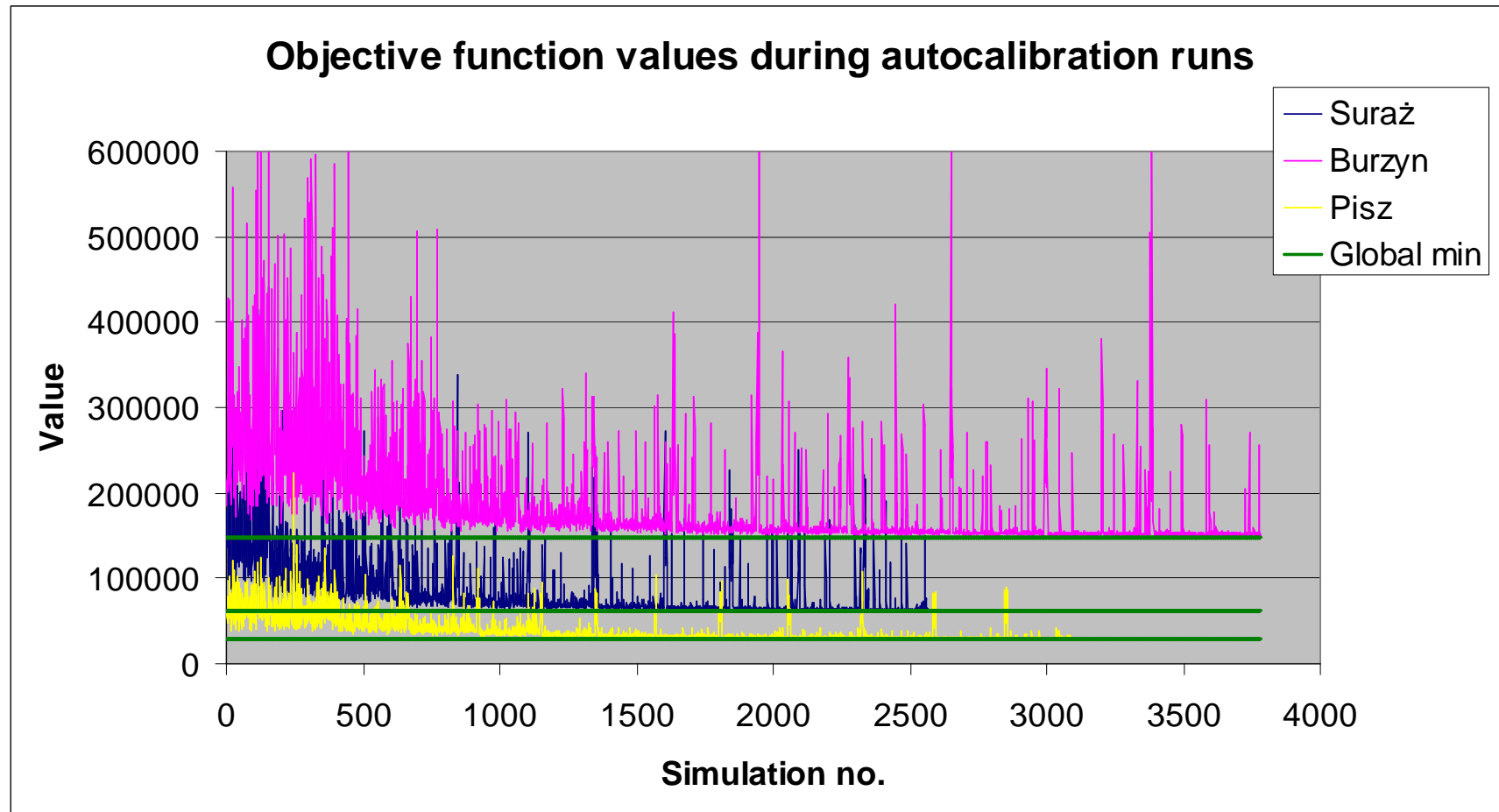


Fig. 1. Illustration of the shuffled complex evolution (SCE-UA) method.

Fig. 1(a) shows that a sample population containing s (in this case, 10) points is divided into p (2) communities (complexes), each containing m (5) members, marked by \bullet and $*$ respectively. As each community undergoes an independent evolution process, one community (marked by $*$) is converging toward the local optimum, whereas the other (marked by \bullet) is converging toward the global optimum. The locations of the members in the two evolved communities at the end of the first evolution cycle are illustrated in **Fig. 1(b)** (to demonstrate clearly the scenario that the two complexes were converging toward two distinct optima, the number of evolution steps taken by each complex was set to a relatively large value of 10). The two evolved communities are shuffled according to the procedure specified in Step 5. The new memberships of the two evolved communities after shuffling are displayed in **Fig. 1(c)**, and the two communities at the end of the second evolution cycle are shown in **Fig. 1(d)**. It is clear that both communities are now converging toward the global optimum.

Przebieg funkcji celu w kolejnych symulacjach



Parametry autokalibracji

	Parametr	Opis	Dolne ogr.	Górne ogr.
1	Alpha_Bf	Stała recesji odpływu podziemnego	0.005	0.04
2	Ch_N2	Współczynnik szorstkości	-50%	50%
3	Cn2	Stała CN	-10%	10%
4	Epc0	Czynnik kompensujący pobór wody przez rośliny	0	1
5	Esco	Czynnik kompensujący parowanie z gleby	0	1
6	Gw_Delay	Czas opóźnienia zasilania warstwy wodonośnej	1	10
7	Gwqm	Min. stan zbiornika wód gruntowych pow. którego pojawia się odpływ podziemny	0	100
8	Sol_Awc	Woda dostępna dla roślin	-40%	40%

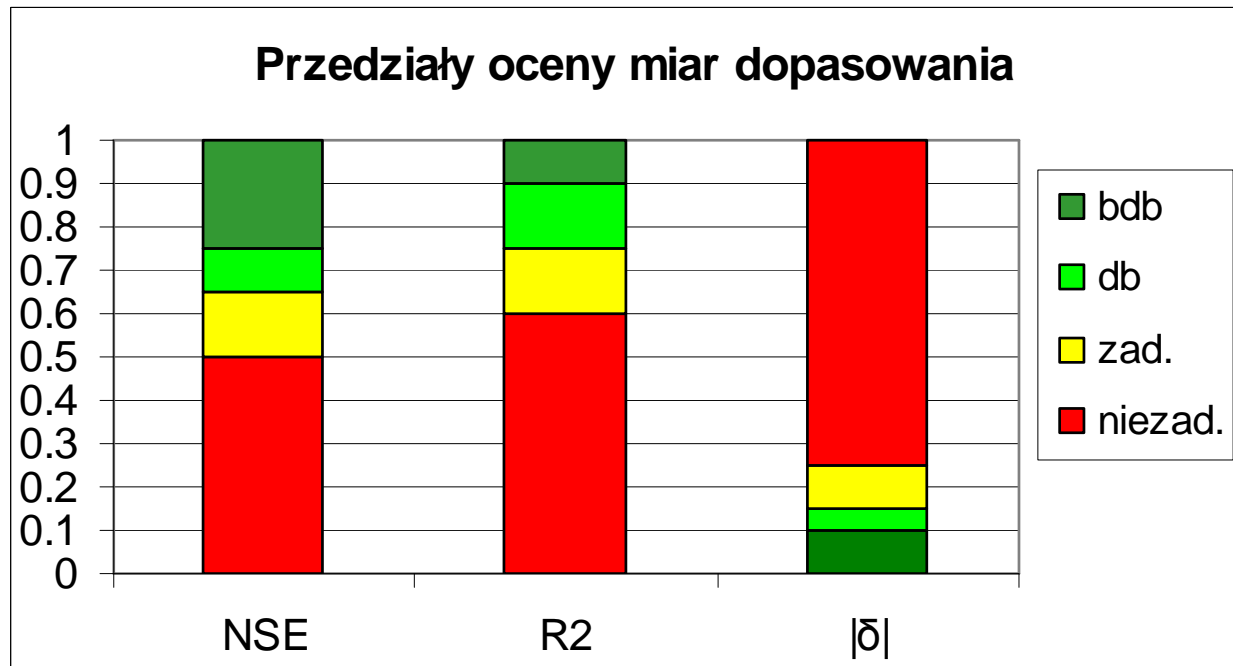
3 metody zmiany (updatingu) parametrów:

- Przez zastąpienie nową wartością
- Przez dodanie określonej wartości do wartości początkowej
- Przez pomnożenie przez określony czynnik wartości początkowej

w całej zlewni / w wybranych zlewniach cząstkowych / w wybranych HRU

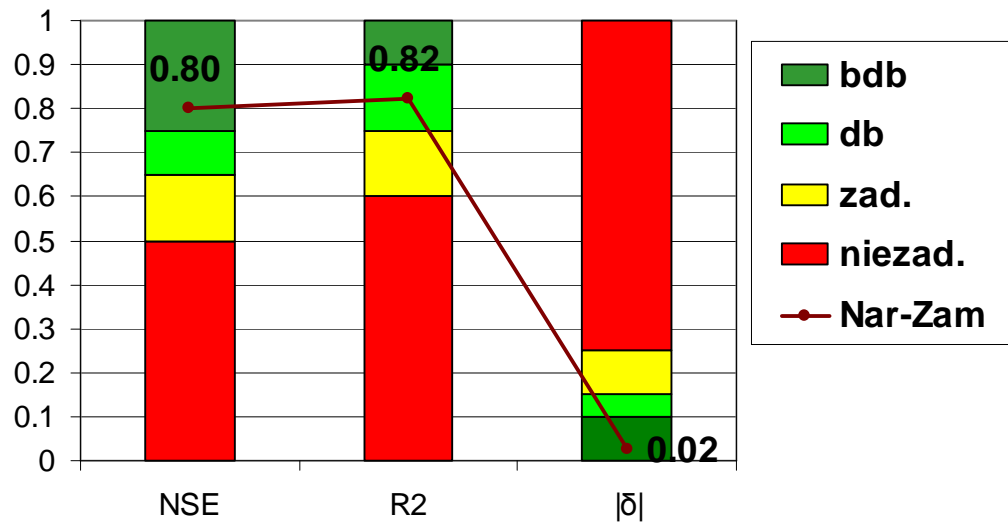
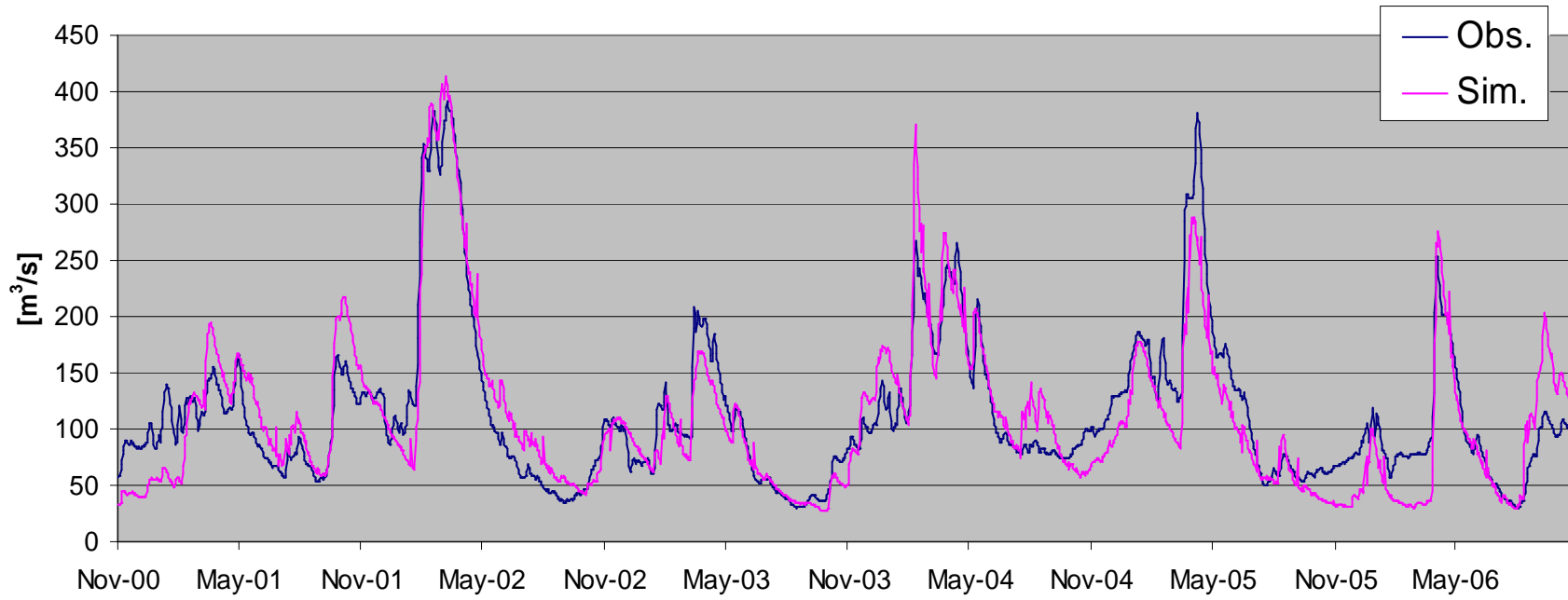
Wskaźniki oceny jakości modeli

- Współczynnik Nasha-Sutcliffe'a NSE
- Współczynnik determinacji R^2
- Błąd względny δ

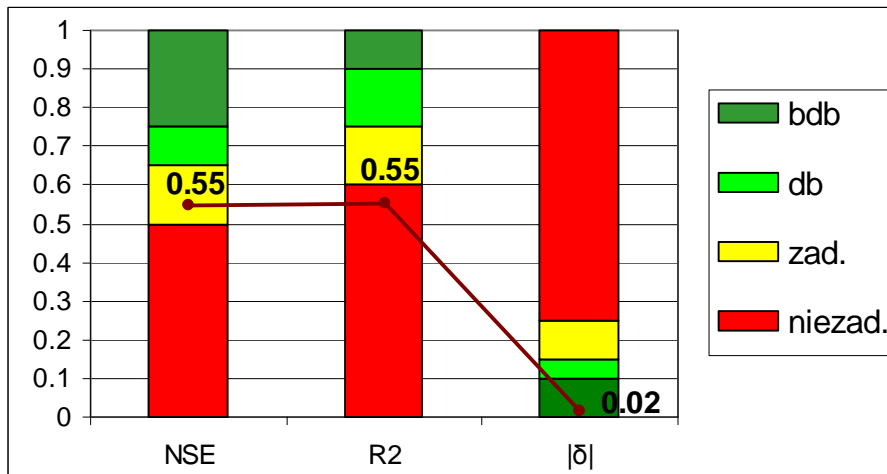
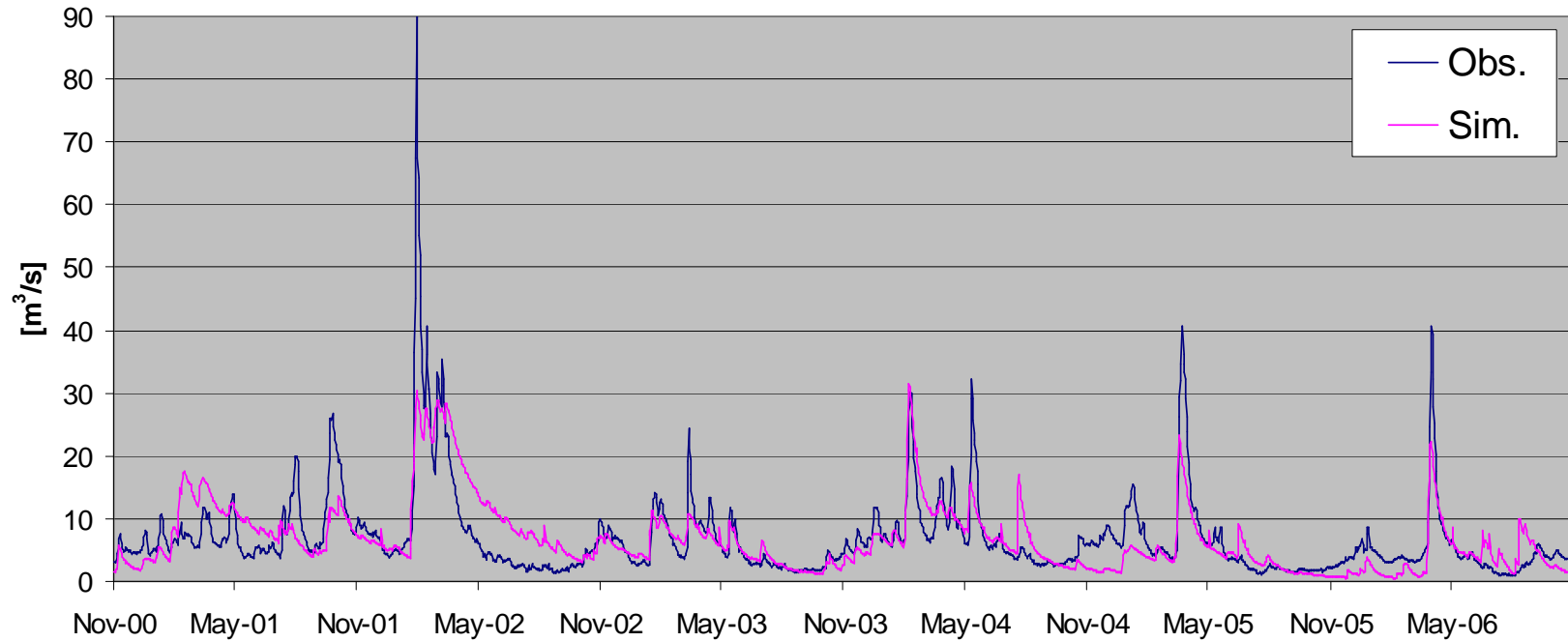


wg Moriasi D. *et al.*, 2007, *Model evaluation guidelines...*, Transactions of the ASABE
Santhi C. *et al.*, 2001, *Validation of the SWAT model...*, JAWRA

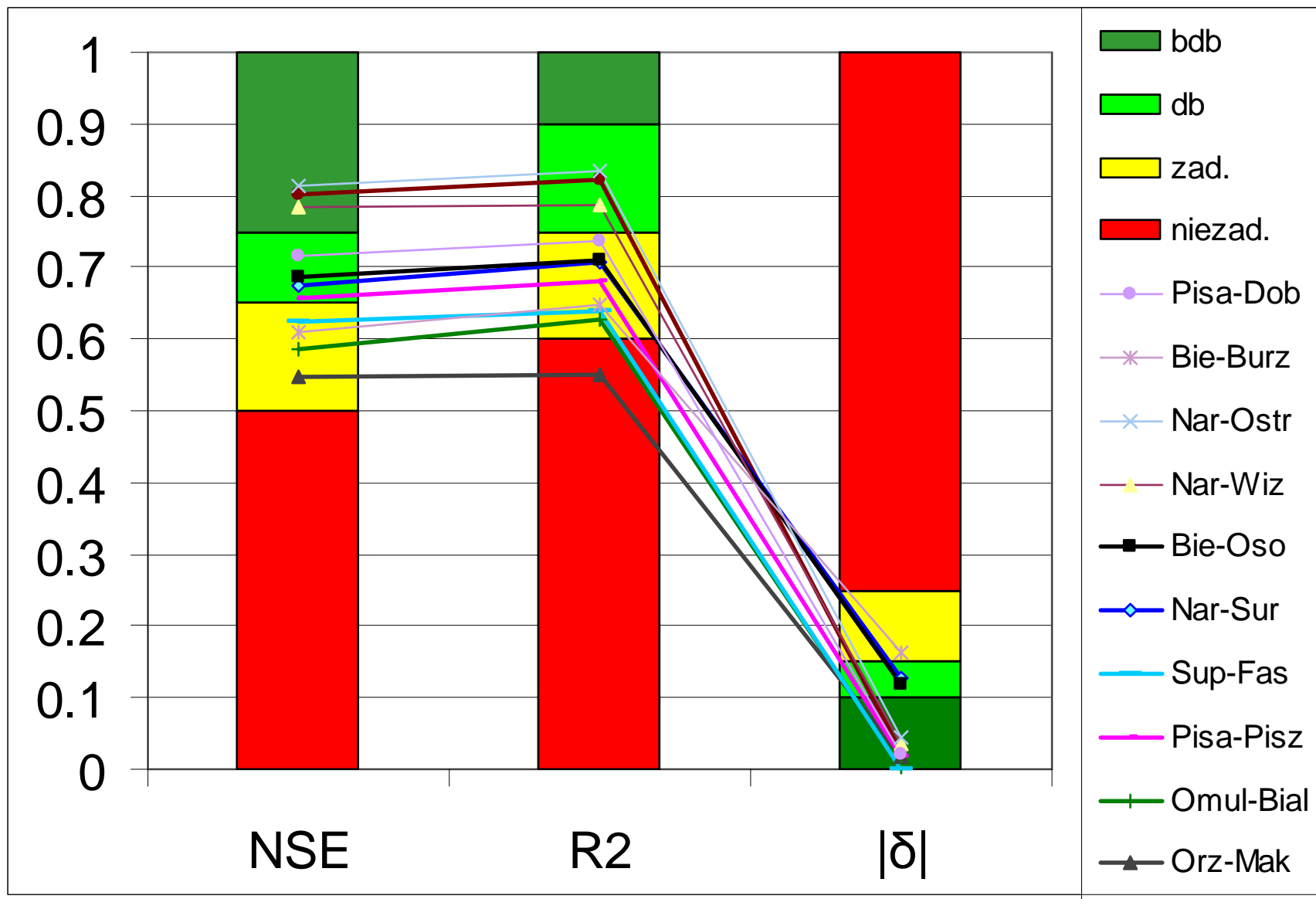
Observed and simulated daily flow at Zambski Kościelne gauge, Narew



Observed and simulated daily flow at Maków Mazowiecki gauge, Orzyc



Ocena jakości modelu (1)



Ocena jakości modelu (2)

Gauge	River	Area [km²]	Q_{av}	<i>RMSE</i>	<i>CVobs</i>	<i>CVmod</i>
Zamski Kościelne	Narew	27500	114	30.3	0.60	0.64
Ostrołęka	Narew	21700	89.5	23.9	0.62	0.64
Wizna	Narew	14170	56.2	18.3	0.70	0.67
Suraż	Narew	3280	11.5	5.4	0.82	0.88
Maków Maz.	Orzyc	2000	6.89	4.6	1.00	0.81
Białobrzeg Bliższy	Omulew	1730	8.41	3.2	0.60	0.60
Dobrylas	Pisa	4000	19.1	3.9	0.38	0.37
Pisz	Pisa	2950	14.9	3.6	0.42	0.40
Burzyn	Biebrza	6800	31.8	18.5	0.93	0.82
Osowiec	Biebrza	4200	18.6	8.3	0.79	0.76
Fasty	Supraśl	1850	7.80	2.6	0.54	0.50

Q_{av} – average flow [m³/s]

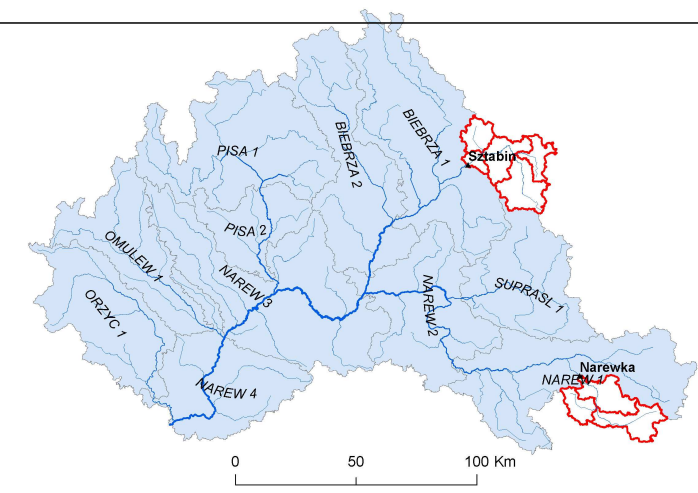
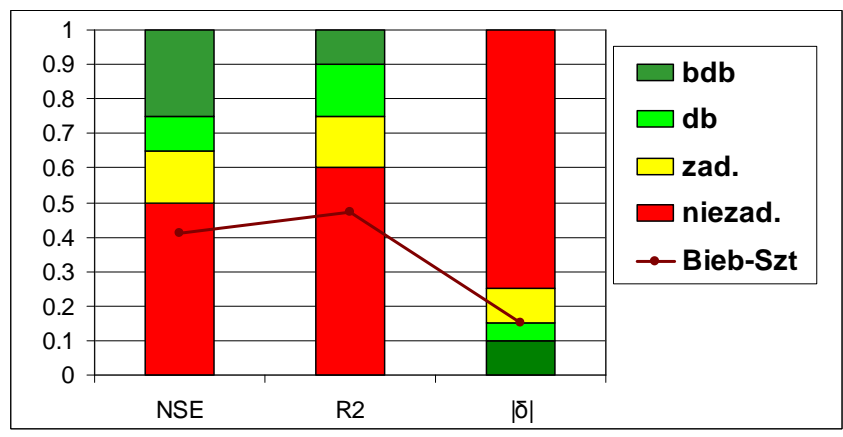
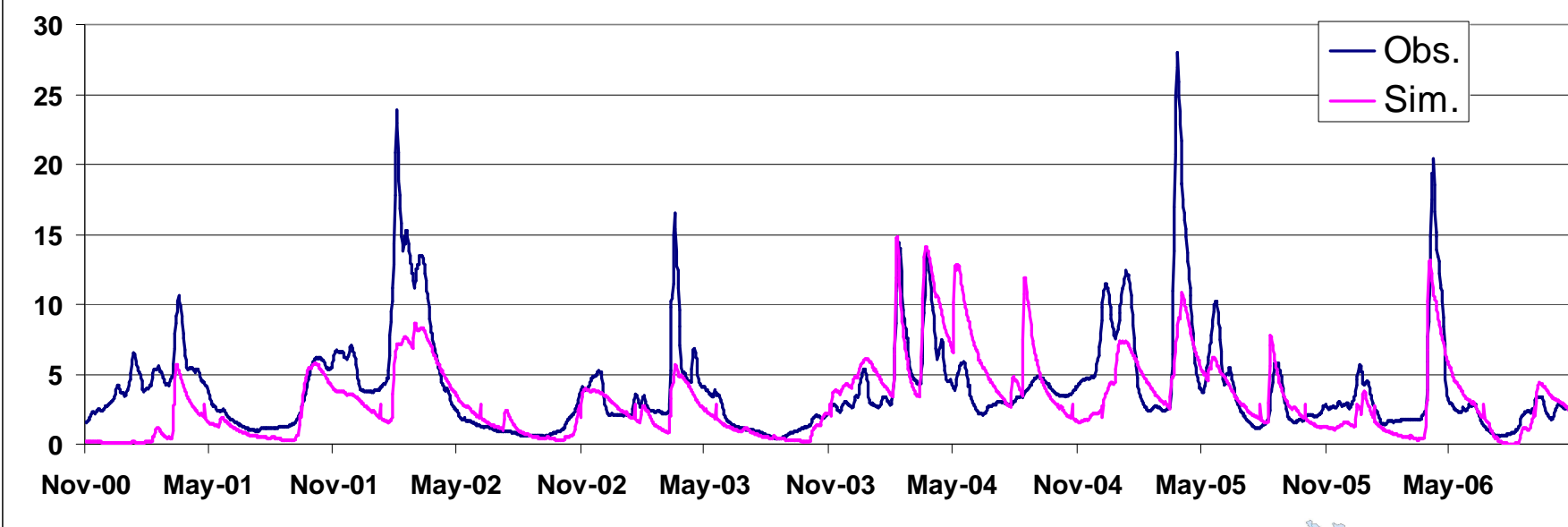
RMSE – root mean squared error [m³/s]

CVobs – coefficient of variation of observed data [-]

CVmod – coefficient of variation of modelled data [-]

Weryfikacja w małych zlewniach

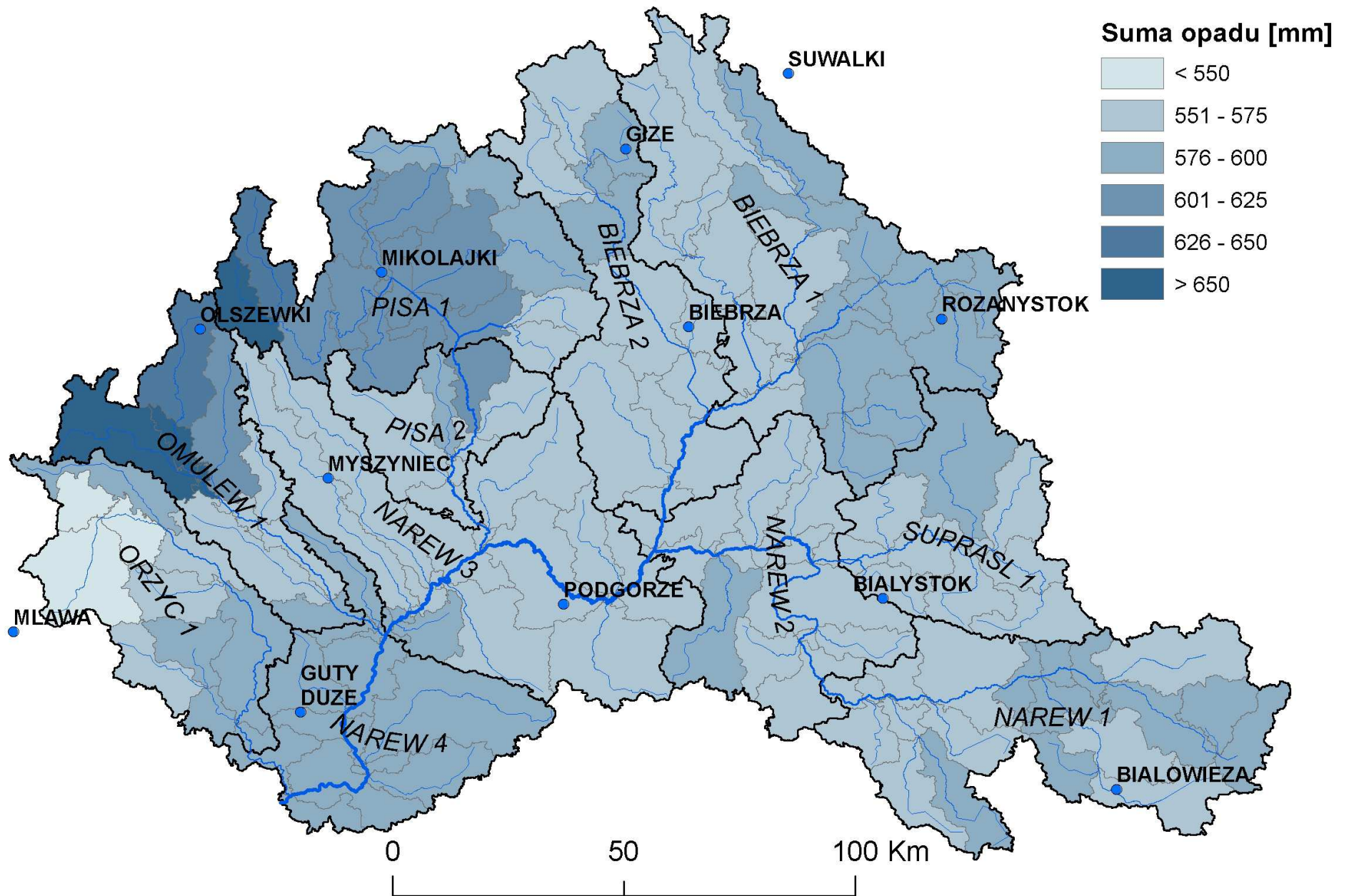
Observed and simulated daily flow at Sztabin gauge, Biebrza



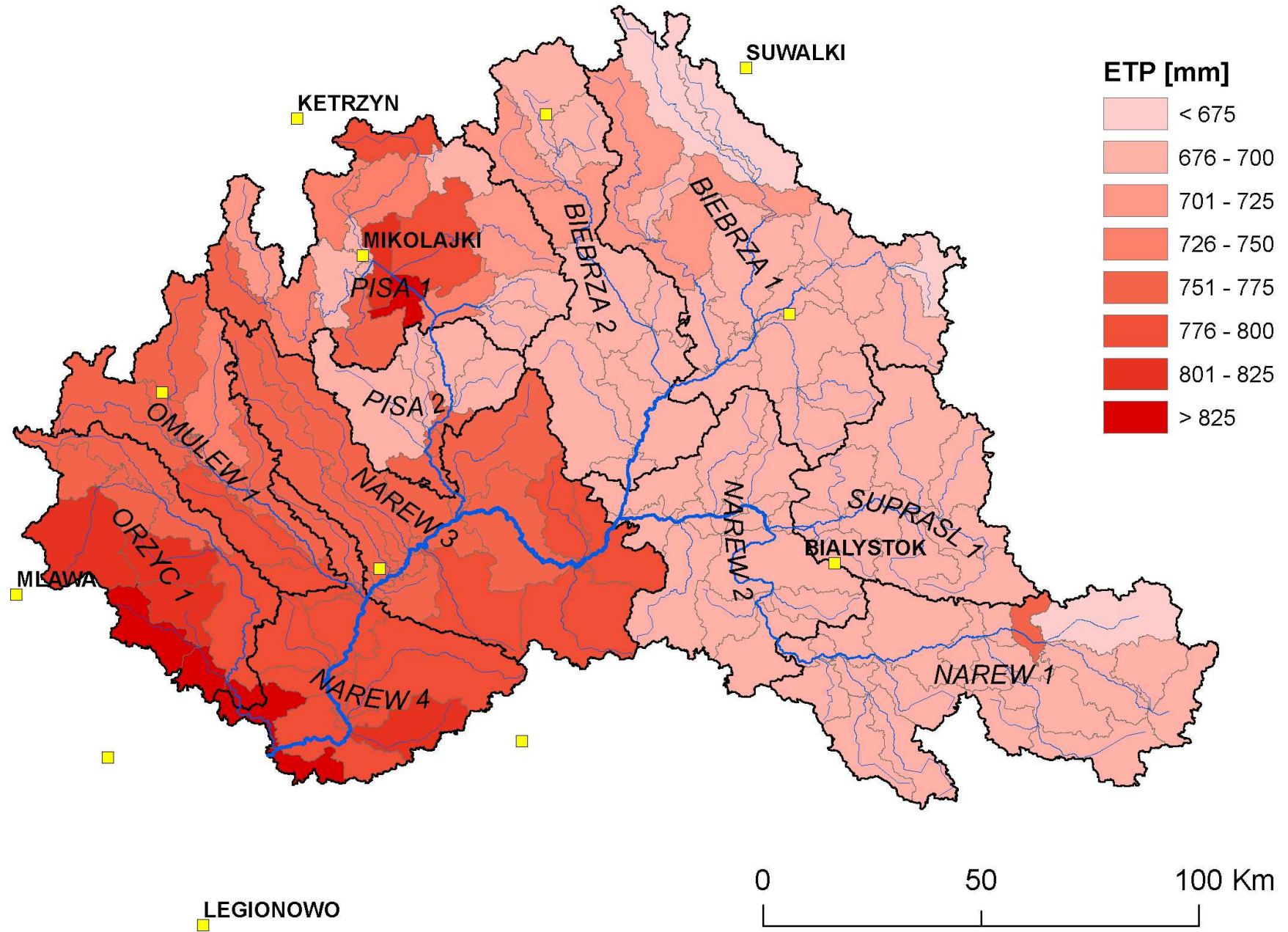
Średnie roczne wyniki symulacji w latach 2001-2006

Proces	Symbol	Wartość [mm]	Uwagi
Opad	P	579	
Ewapotranspiracja potencjalna	PET	728	$AET / PET = 0.59$
Ewapotranspiracja aktualna	AET	427	
Odływ	H_{tot}	132	$H_{tot} / P = 0.23$ $H_{gw} / H_{tot} = 0.78$
Odływ powierzchniowy	H_{surf}	27	
Odływ podziemny	H_{gw}	103	
Różnica retencji glebowej	ΔS	10.5	$P - AET - H_{tot} = 20$ mm

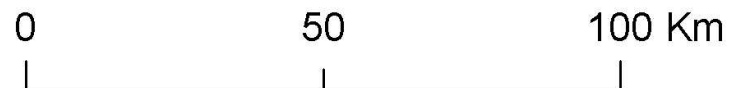
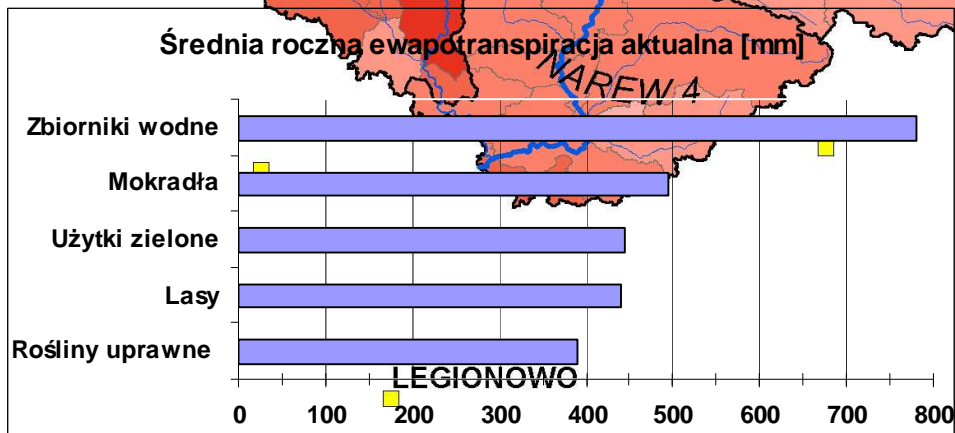
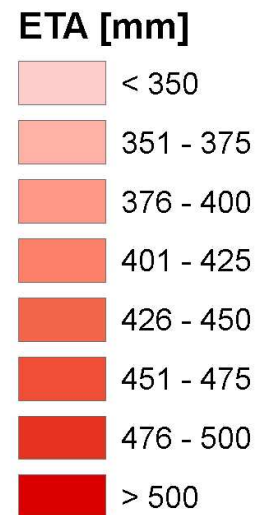
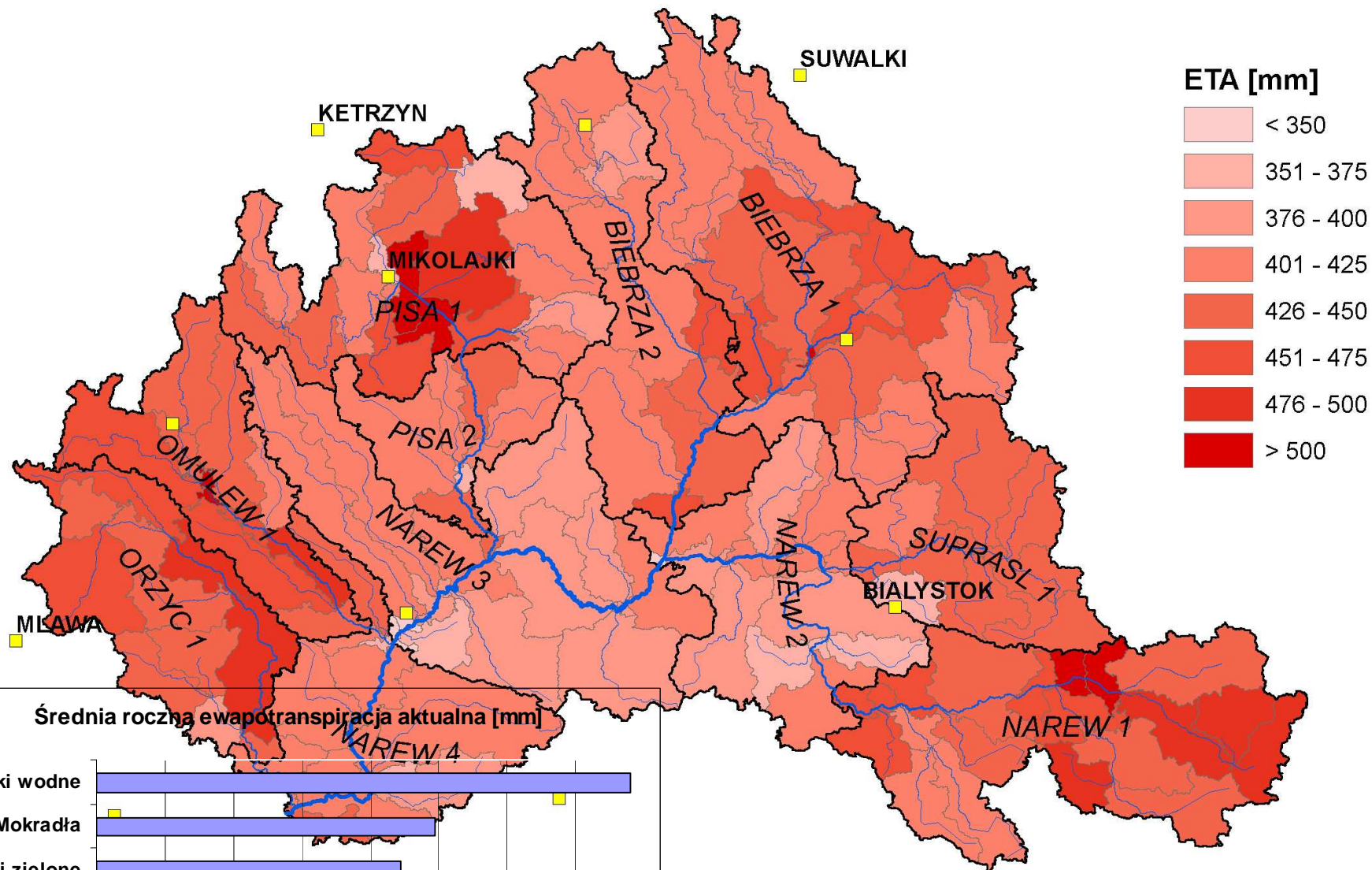
Średnia roczna suma opadu w latach 2001-2006



Średnia roczna ewapotranspiracja potencjalna



Średnia roczna ewapotranspiracja aktualna

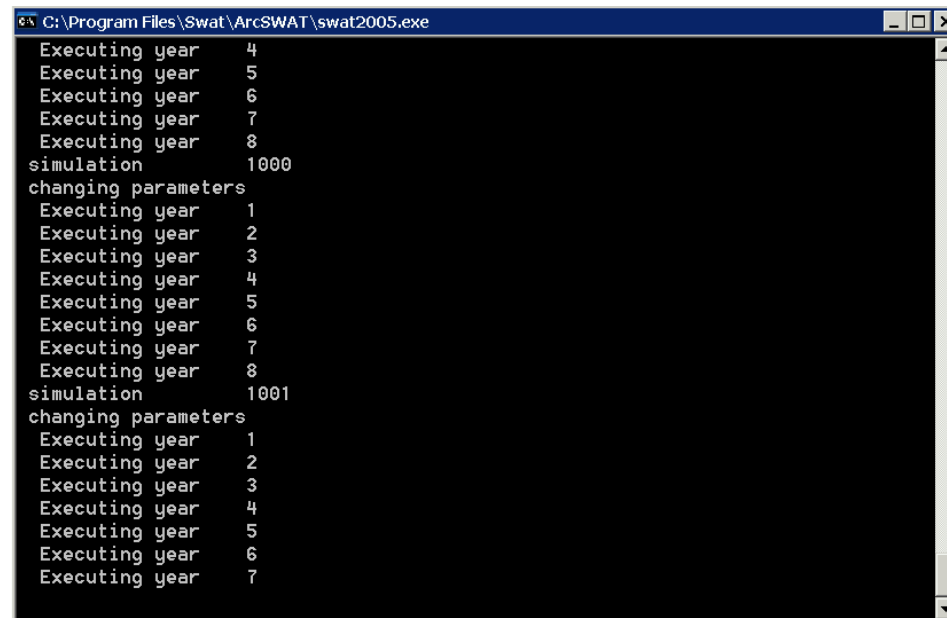


Podsumowanie (1)

- Wyniki analizy czułości pomogły wytypować parametry do autokalibracji oraz pozwoliły na lepsze zrozumienie zachowania modelu
- Ocena jakości modelu jest co najmniej zadowalająca we wszystkich 11 obszarach kalibracji
- Wizualna ocena jakości modelu wskazuje na następujące słabości:
 - niedoszacowanie największych wezbrań roztopowych o 20-60% (dotyczy głównie dopływów)
 - niedoszacowanie o ok. 30-50% i asynchroniczność niektórych niżówek w okresie jesienno-zimowym
 - zbyt łagodny przebieg krzywej recesji
- Istnieje zależność pomiędzy wartościami miar dopasowania a powierzchnią zlewni, która rodzi naturalne pytanie: jaka jest minimalna wielkość zlewni, dla której wyniki są już sensowne

Podsumowanie (2)

- Aby dokończyć proces identyfikacji konieczne jest wykonanie:
 - analizy niepewności parametrów użytych w autokalibracji
 - weryfikacji modelu na materiale niezależnym
- Zastosowane narzędzia SWAT Autocalibration Tools są stosunkowo łatwe w użyciu oraz skuteczne, chociaż...
- ... czas oczekiwania na wyniki mógłby być krótszy



```
C:\Program Files\Swat\ArcSWAT\swat2005.exe
Executing year 4
Executing year 5
Executing year 6
Executing year 7
Executing year 8
simulation 1000
changing parameters
Executing year 1
Executing year 2
Executing year 3
Executing year 4
Executing year 5
Executing year 6
Executing year 7
Executing year 8
simulation 1001
changing parameters
Executing year 1
Executing year 2
Executing year 3
Executing year 4
Executing year 5
Executing year 6
Executing year 7
```

Dziękuję za uwagę!

