SGGW
w Warszawie

Doskonalenie modelowania odpływu w zlewni miejskiej przez zastosowanie metod teledetekcji satelitarnej do estymacji powierzchni nieprzepuszczalnych

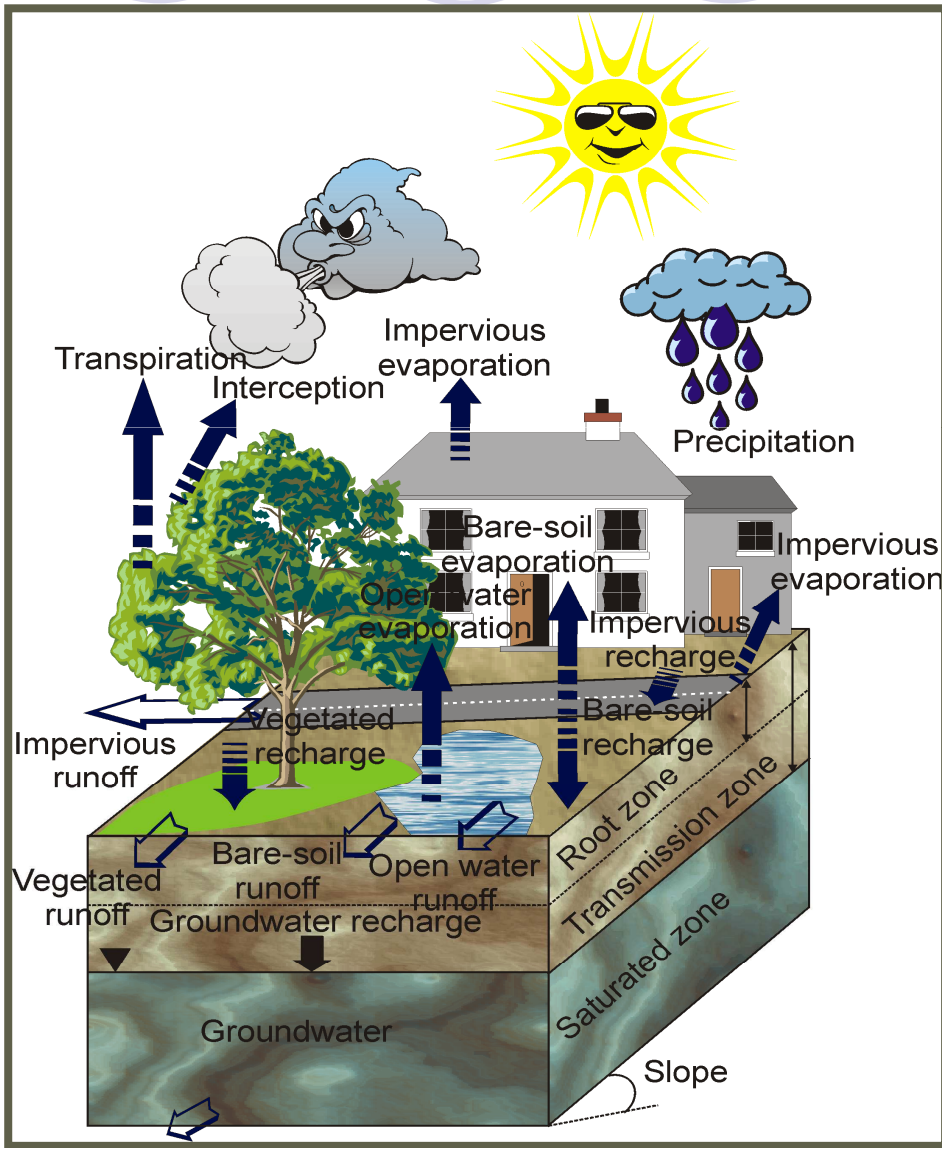
Dr Jarosław Chormański
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Katedra Inżynierii Wodnej
Zakład Hydrologii i Zasobów Wodnych
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa
j.chormanski@levis.sggw.pl

Założenia

- Opracowanie modelu hydrologicznego o parametrach rozłożonych, uwzględniającego prawidłowe parametryzowanie procesów hydrologicznych w zlewni miejskiej.
- Parametry przestrzenne modelu określane są w rastrowej strukturze GIS z zastosowaniem metod teledetekcyjnych.
- Nieprzepuszczalność podłoża głównym czynnikiem odpływotwórczym
- Obszar badań: zlewnia Białej (Białystok)

Ujęcie w obliczeniach niehomogeniczności komórki rastrowej

- Komórka modelowania → w obszarach miejskich niehomogeniczna
- Dokładne wyznaczenie obszarów nieprzepuszczalnych mających decydujący udział w powstaniu odpływu
- % udział powierzchni nieprzepuszczalnej w każdej komórce modelu



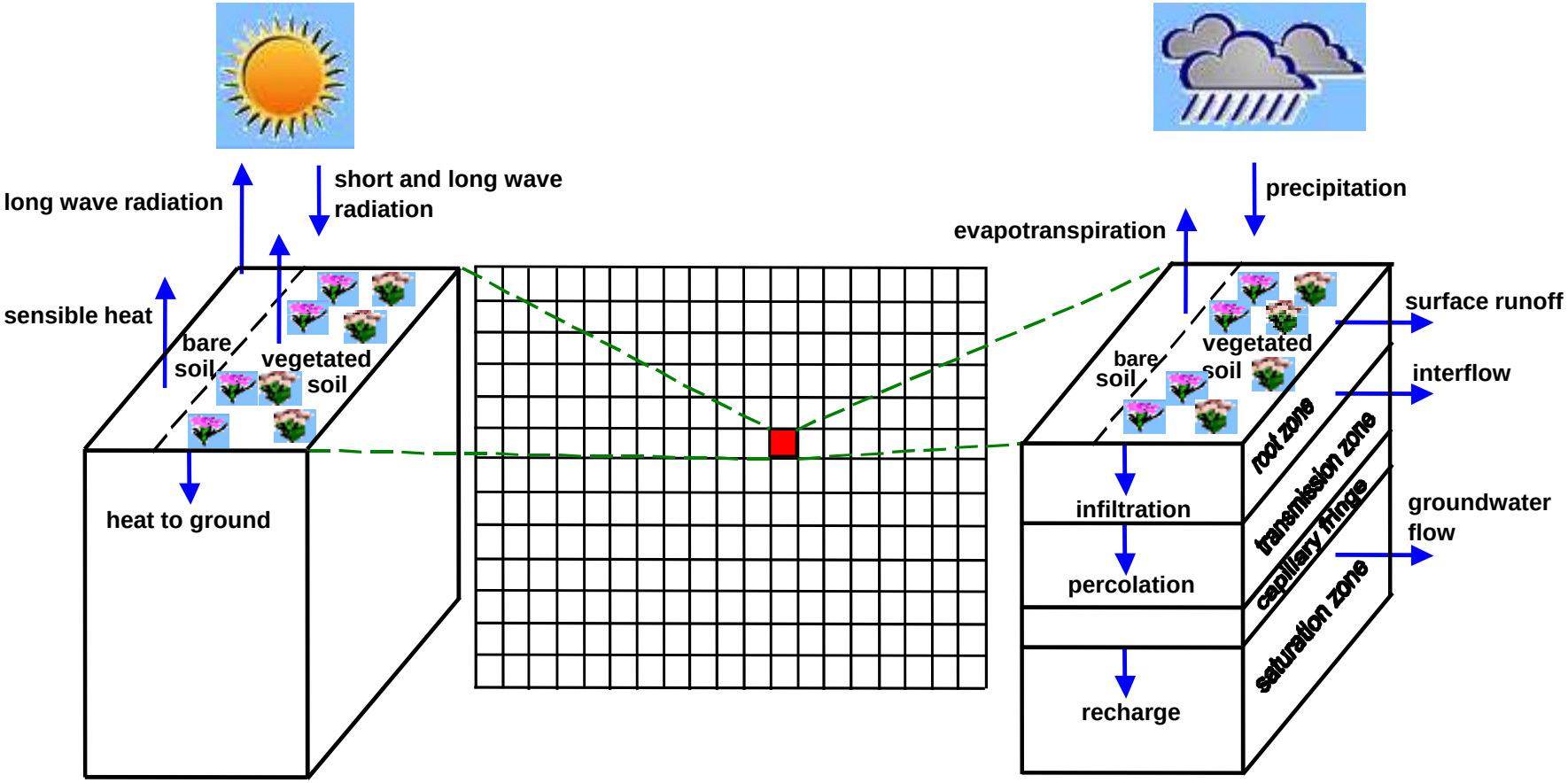
WET-SPA (Water and Energy Transfer between Soil, Plant and Atmosphere)

(Wang et al., 1996; De Smedt et al., 2000; Liu et al., 2002, 2005, Chormański i in., 2006, 2008)

- Dane wejściowe:
  - Meteorologiczne (P, T i PET)
  - GIS (DEM, mapa użytkowania, mapa gleb)
- Kalibracja:
  - Parametry lokalne (określane na podstawie map i obrazów satelitarnych)
  - Kalibracja pół-automatyczna (10 parametrów globalnych) na materiale zależnym i niezależnym
- Ocena jakości:
  - Porównanie hydrogramów obliczonego i pomierzonego
  - Kryteria statystyczne, miary zgodności

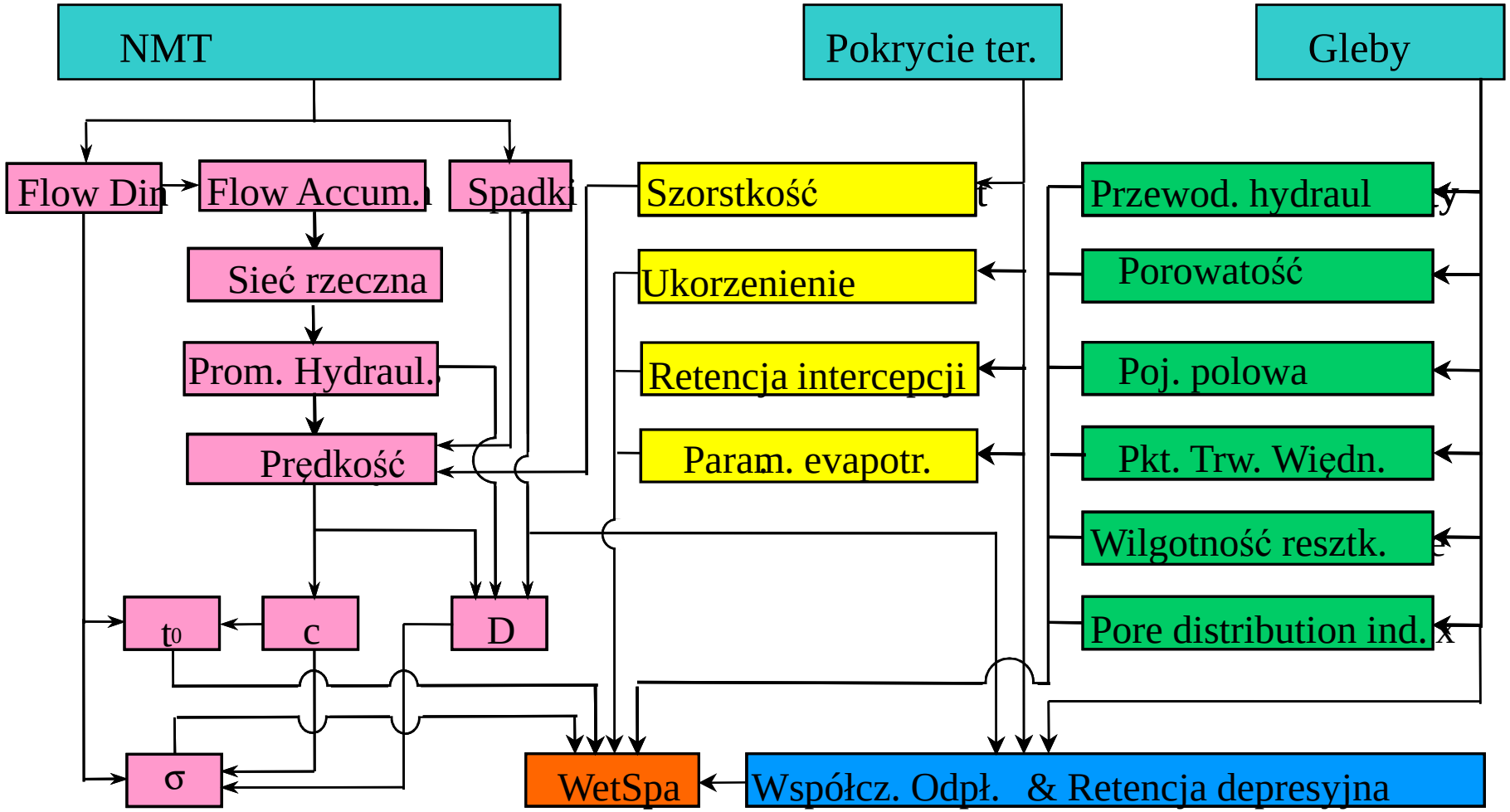
WET-SPA (Water and Energy Transfer between Soil, Plant and Atmosphere)

Model hydrologiczny zlewni o parametrach rozłożonych



(Wang et al., 1996; De Smedt et al., 2000; Liu et al., 2002, 2005, Chormański i in., 2006, 2008)

Parametry lokalne



Liu et al. 2002

Parametry lokalne modelu mają sens fizyczny i są określane w rastrowej strukturze GIS na podstawie trzech map

WetSpa – koncepcja obliczania odpływu

- Aproksymacja równań fali dyfuzyjnej (komórka)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = D(x)\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} - c(x)\frac{\partial Q}{\partial x}$$

- Hydrogram jednostkowy

$$u(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi t^3/t_0^{\,3}}}\,\mathrm{Exp}\left[-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2 t/t_0}\right] \qquad U_i(t) = \prod_{j=1}^{N} u_i(t)$$

- Czas odpływu & Odchyl. Standard.

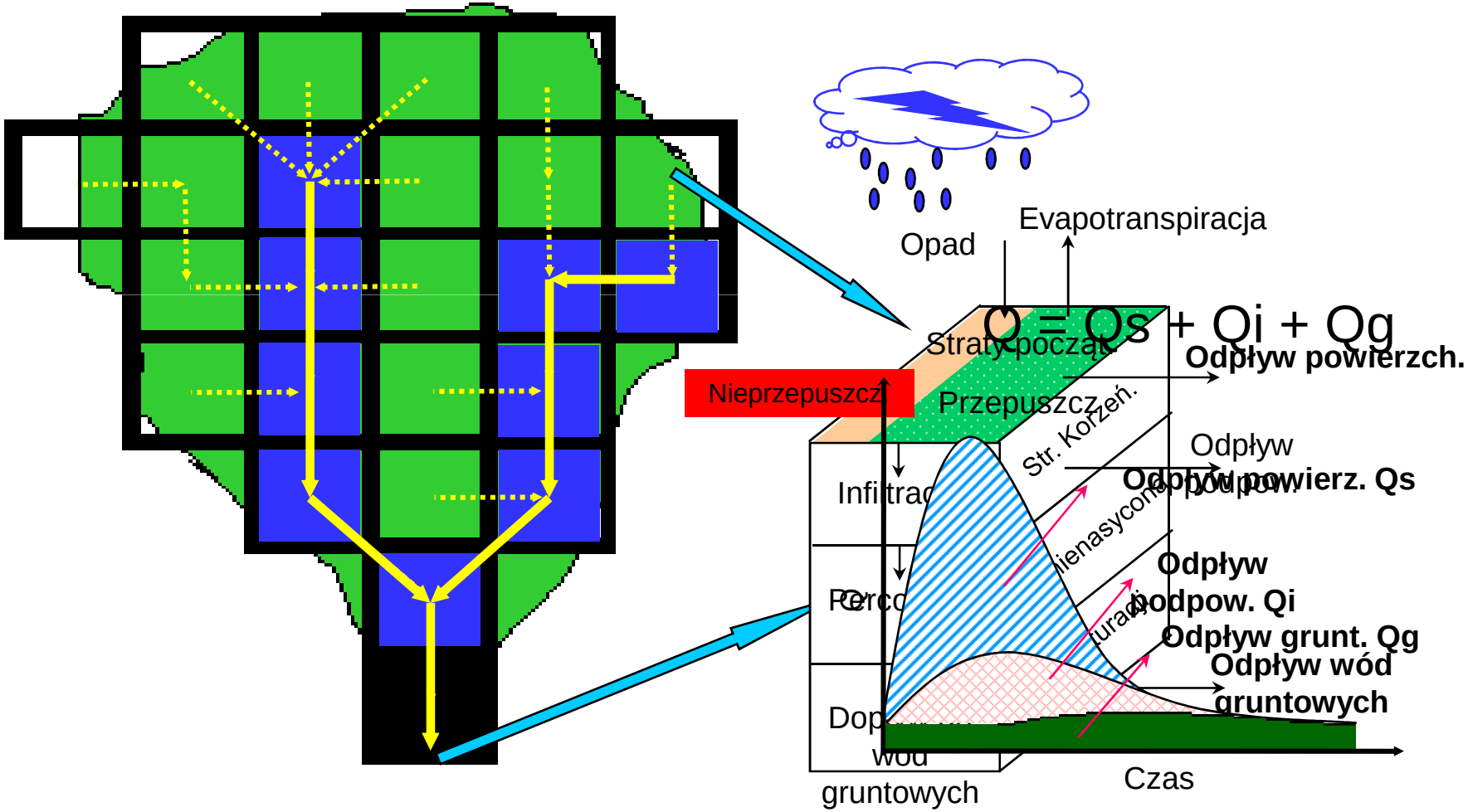
$$t_0 = \int \frac{1}{c}\,dx \qquad \sigma = \sqrt{\int \frac{2D}{c^2}\,dt} \approx \sqrt{\int \frac{2D}{c^3}\,dx}$$

- Hydrogram odpływu

$$Q(t) = \int_A \int_0^t Q_0(\tau)U(t-\tau)\,d\tau\,dA$$

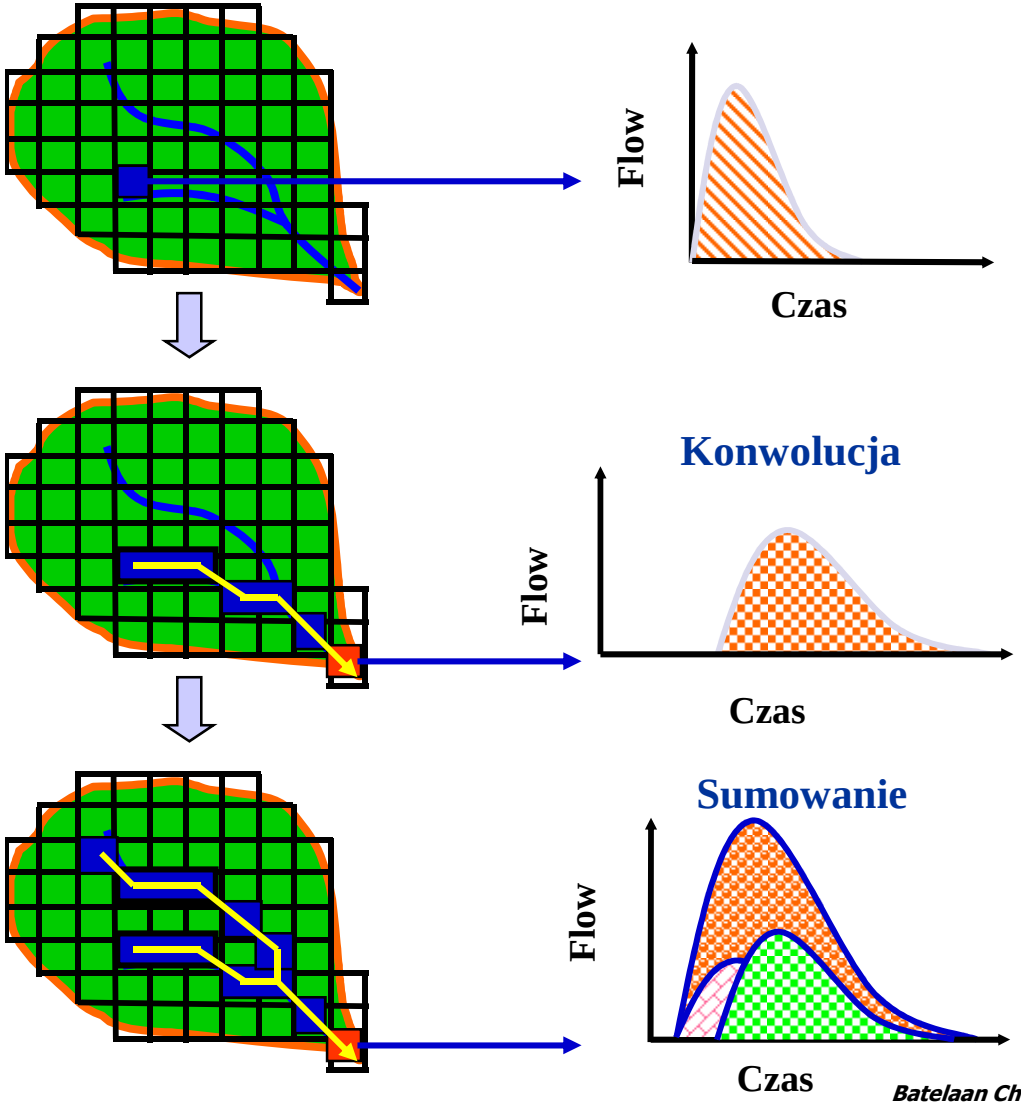
gdzie: $u(t)$ – funkcja jednostkowej odpowiedzi drogi spływu (s^{-1}),
t_0 – średni czas odpływu od danej komórki do końca drogi spływu (s),
σ – odchylenie standardowe czasu odpływu (s),
$Q(t)$ – hydrogram odpływu (m^3/s),
Q_0 – opad efektywny (m^3/s),
τ – opóźnienie czasowe (s), T,
A – powierzchnia zlewni, (L^2)

WetSpa – koncepcja obliczania odpływu

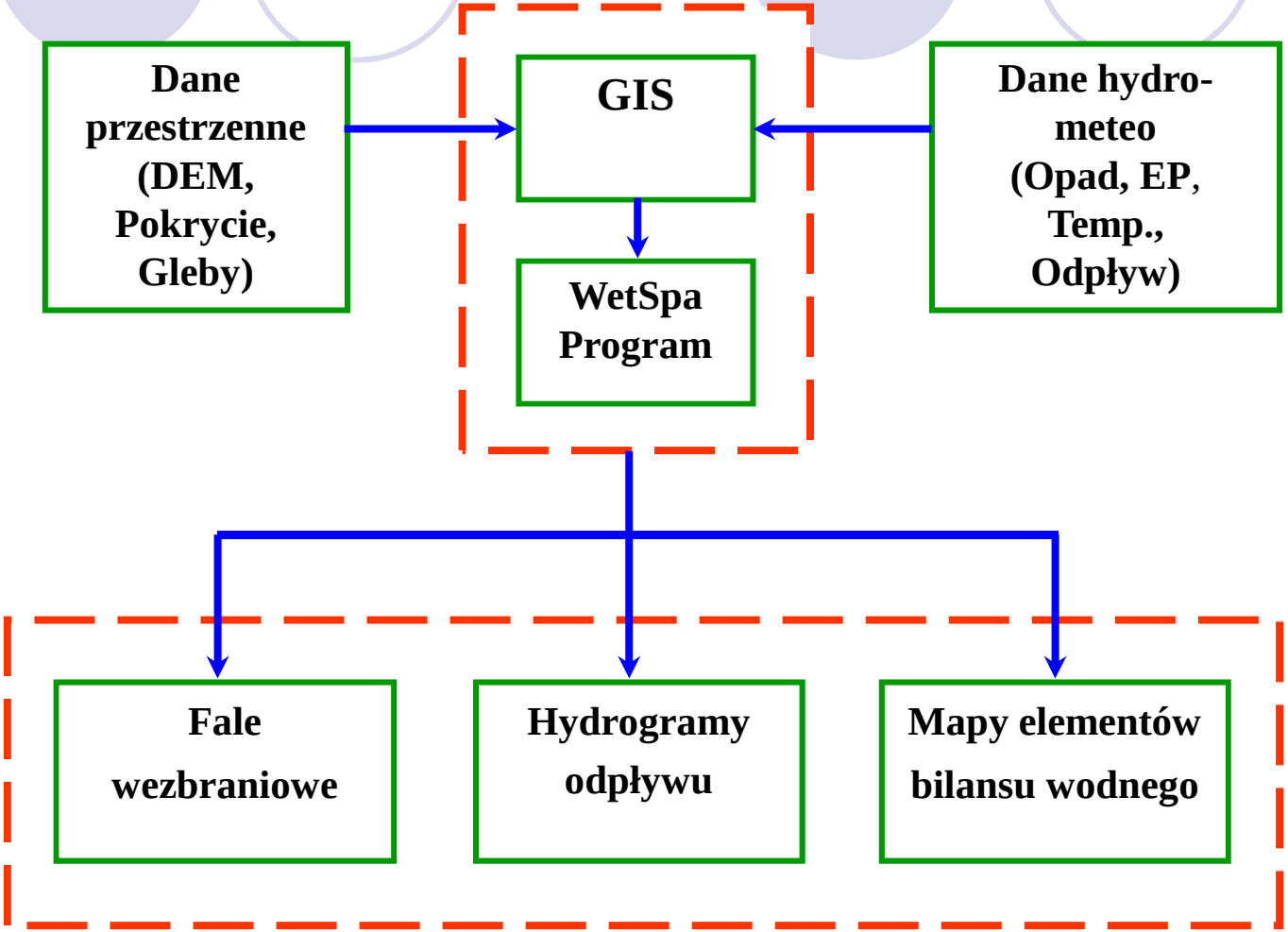


WetSpa – koncepcja obliczania odpływu

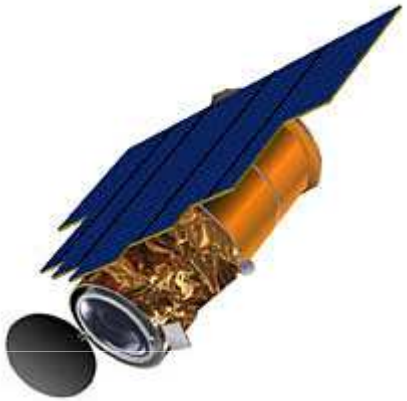
- **Poziom komórki**
- **Poziom drogi odpływu**
- **Poziom zlewni**



Struktura modelu WetSpa

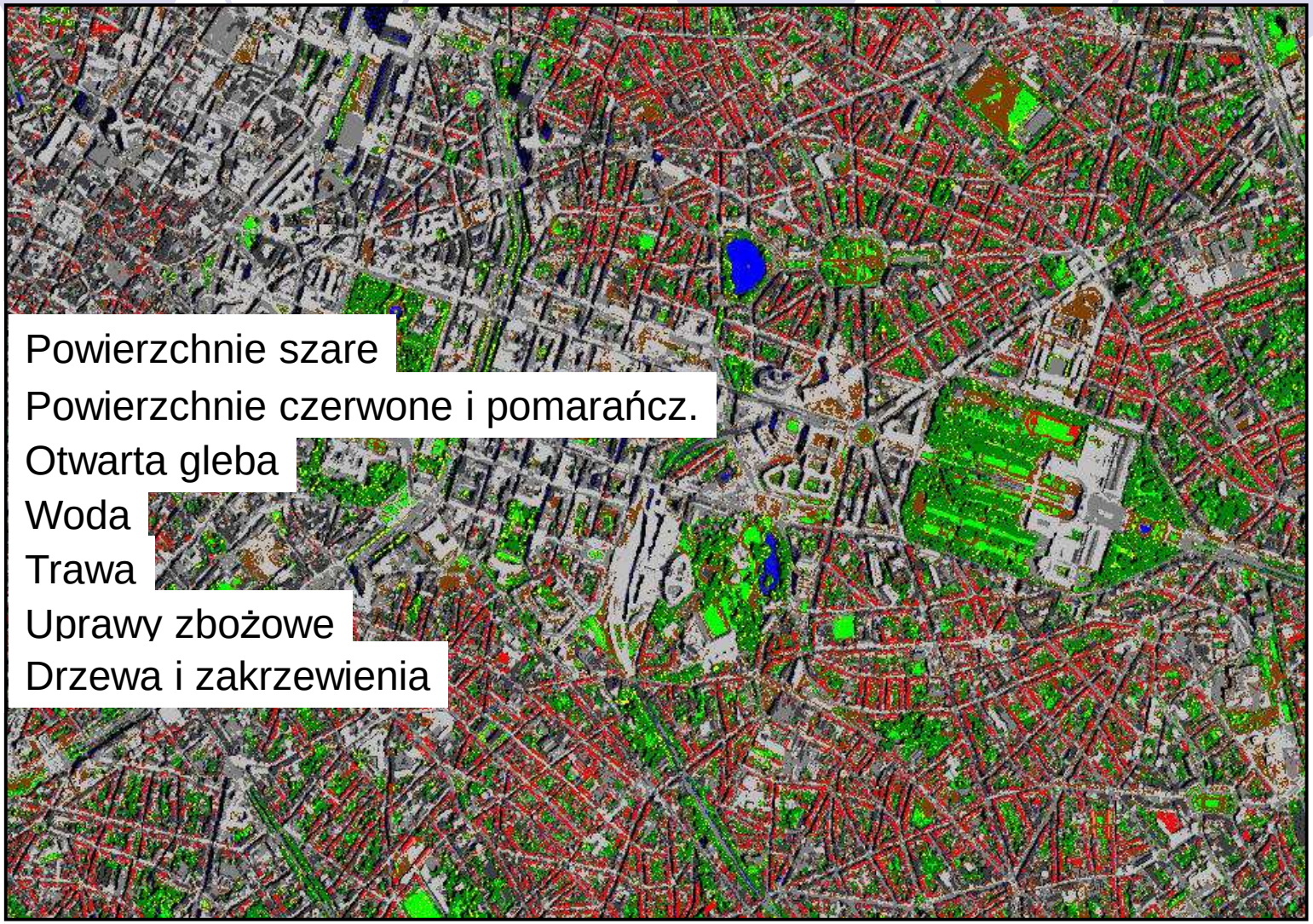


Mapa obszarów nieprzepuszczalnych dla modelowania odpływu – zastosowanie technik teledetekcyjnych



- VHR ➔ wysokorozdzielcze zobrazowania satelitarne (Ikonos, QuickBird, World View2)…
  … ograniczona powierzchnia za relatywnie wysoką cenę
- MR ➔ Średniej rozdzielczości (e.g.. Landsat)
- ➔ dużo tańsze (nawet darmowe) i większe powierzchnie …
- … mniejsze rozdzielczość - mniej szczegółowa

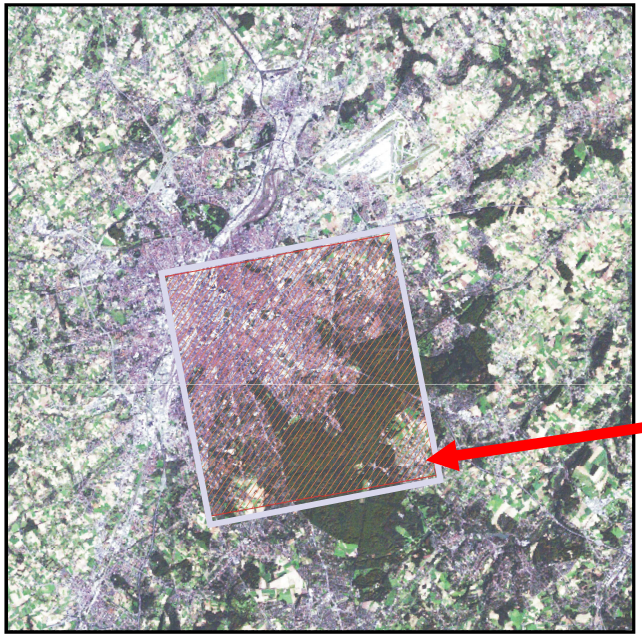
Wynik klasyfikacji VHR



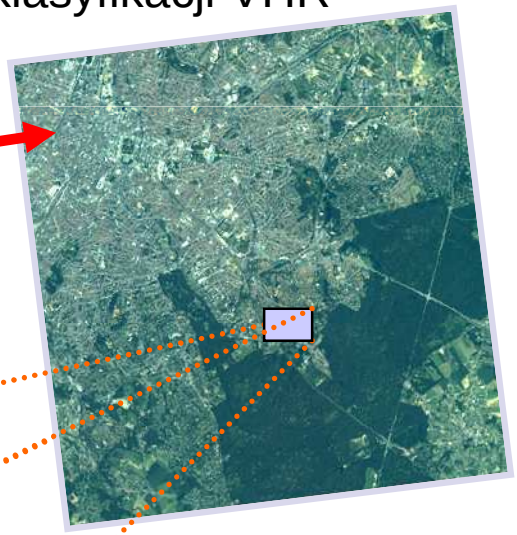
Mapa obszarów nieprzepuszczalnych dla modelowania odpływu

MR

Landsat ETM+



Ustalenie związku między wartościami spektralnymi obrazu MR i i proporcją poszczególnych klas z klasyfikacji VHR

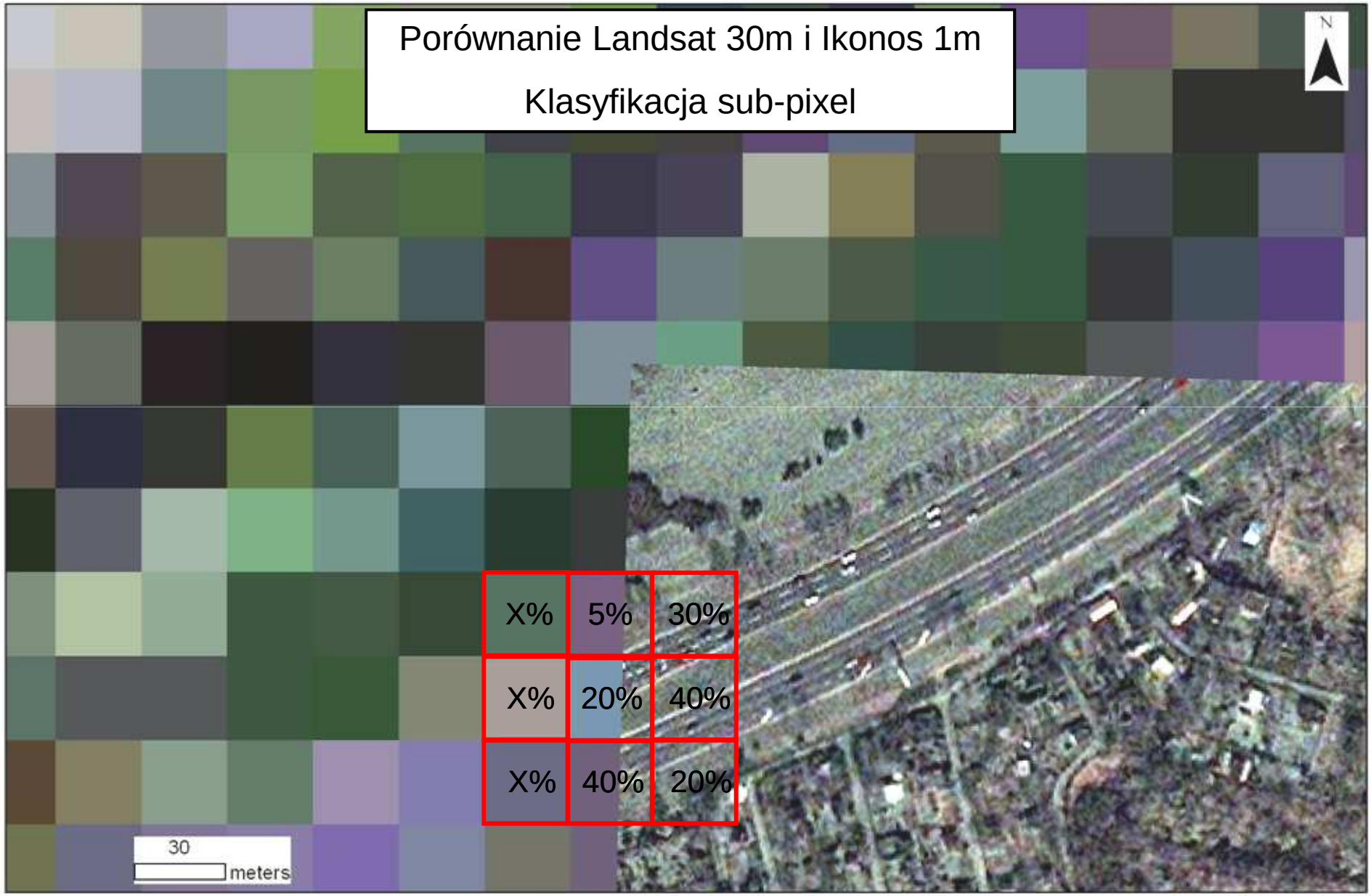


VHR

IKONOS

Klasyfikacja VHR

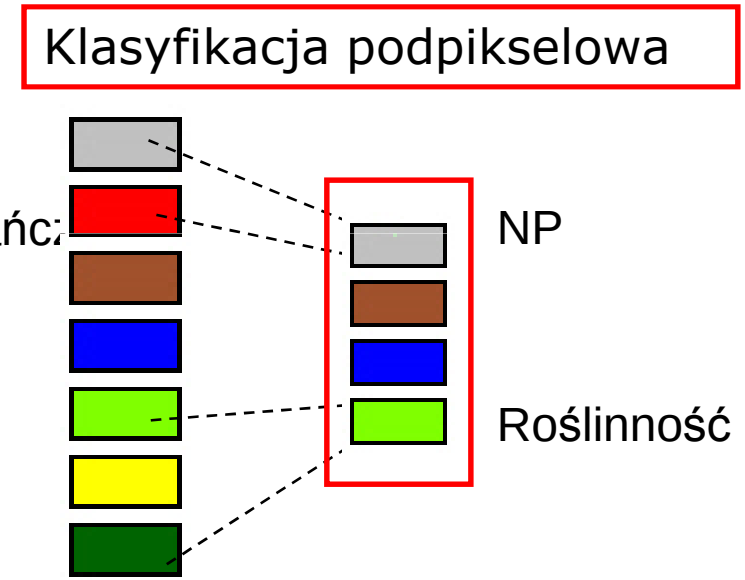
Klasyfikcja podpikselowa



Legenda i jej uproszczenie dla klasyfikacji podpikselowej

Klayfikacja VHR

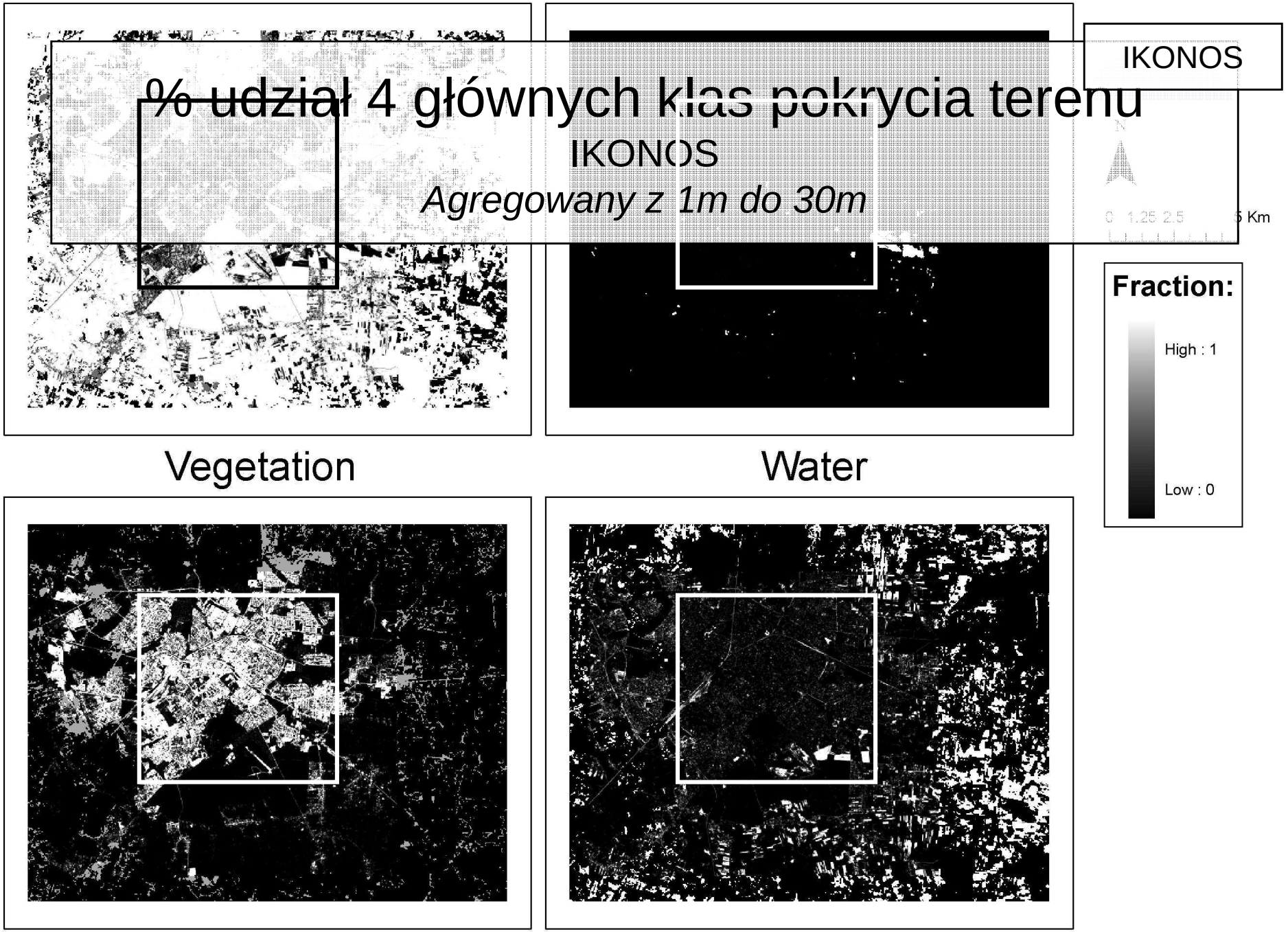
Powierzchnie szare
Powierzchnie czerwone i pomarańcz
Otwarta gleba
Woda
Trawa
Uprawy zbożowe
Drzewa i zakrzewienia



% udział 4 głównych klas pokrycia terenu

IKONOS

Agregowany z 1m do 30m



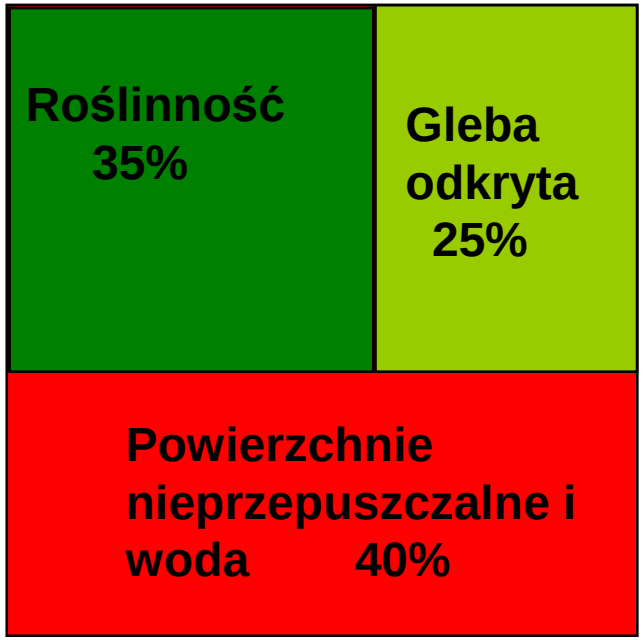
Vegetation

Water

Impervious

Bare soil

Współczynnik odpływu na poziomie komórki rastrowej



$C_0 = 0.35*C_{rVeg} + 0.25*C_{rBareSoil} + 0.4*C_{rIMP}$

& $C_{rIMP} = 1$

C_{rVeg}, $C_{rBareSoil}$ = f(gleba, spadek, użytkowanie)

IKONOS land-cover mapping

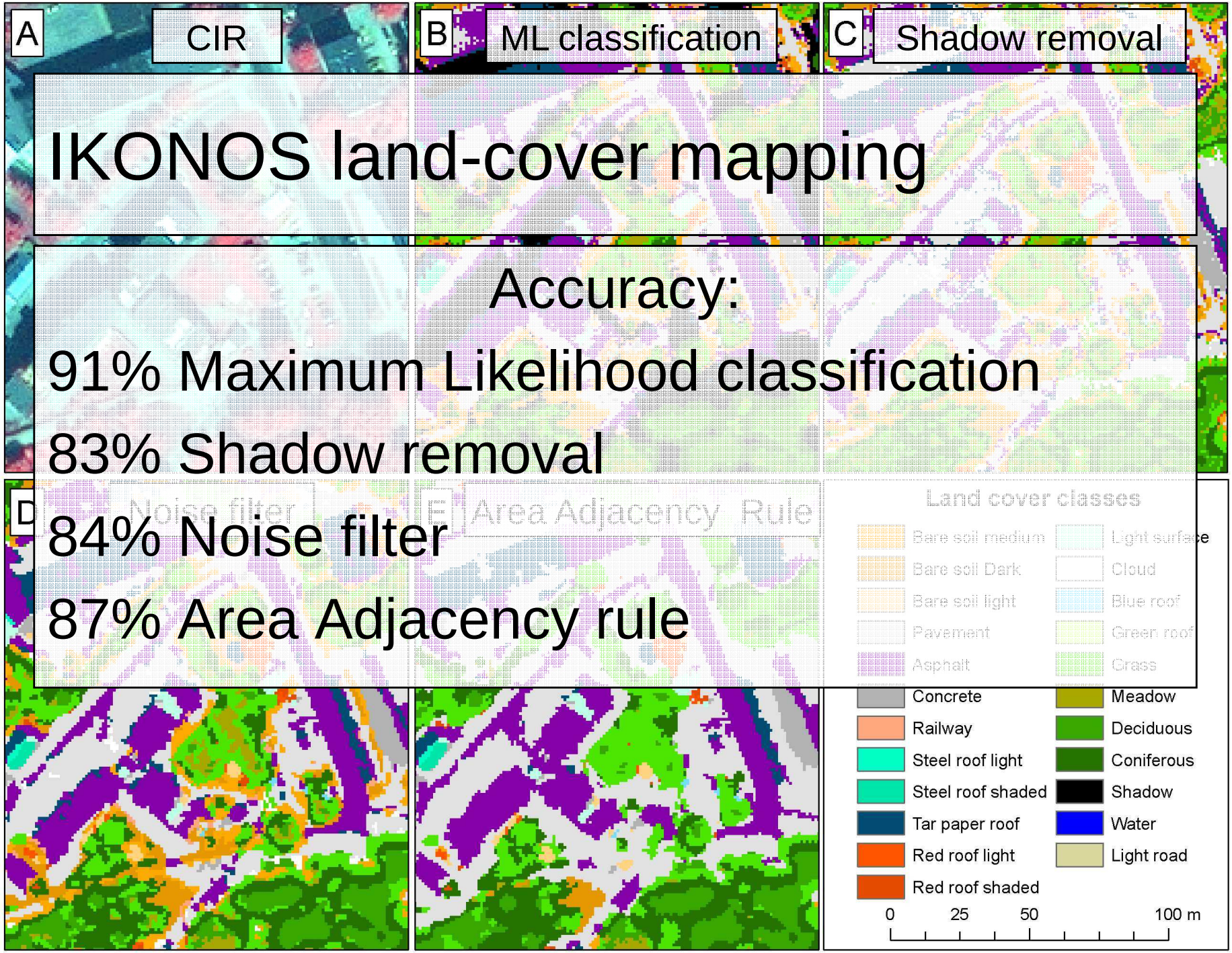
Accuracy:

91% Maximum Likelihood classification

83% Shadow removal

84% Noise filter

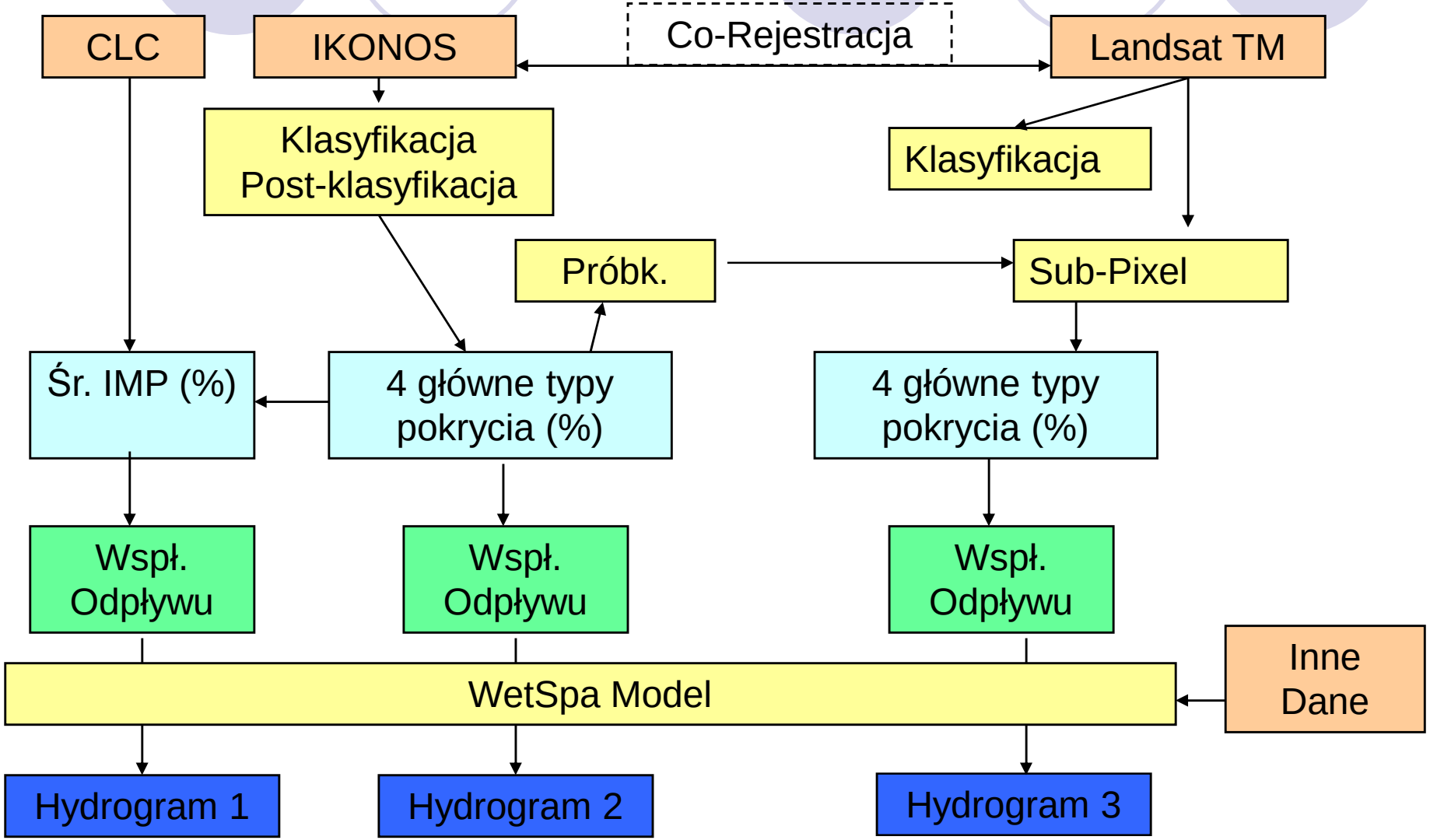
87% Area Adjacency rule



Scenariusze szacowania obszarów nieprzepuszczalnych i współczynnika odpływu

- Scenariusz 1 – semi-distributed - klasy terenów zurbanizowanych wg CLC 2006; średnie wartości % NP dla klasy na podstawie Ikonos.
- Scenariusz 2 – Indywidualne NP % dla komórki na podstawie Ikonos. Agregacja Ikonos w komórkach 30 m.
- Scenariusz 3 - Indywidualne NP % dla komórki na podstawie wyników klasyfkacji podpikselowej Landsat w komórkach 30 m.

Metodyka


CLC
IKONOS
Co-Rejestracja
Landsat TM
Klasyfikacja
Post-klasyfikacja
Klasyfikacja
Próbk.
Sub-Pixel
Śr. IMP (%)
4 główne typy pokrycia (%)
4 główne typy pokrycia (%)
Wspł. Odpływu
Wspł. Odpływu
Wspł. Odpływu
WetSpa Model
Inne Dane
Hydrogram 1
Hydrogram 2
Hydrogram 3

Landsat 5 TM Sub-pixel classification

- Stepwise **GLM** (Generalize Linear Model)
- 4 models, one for each class
  - Each had different input variables
  - Sum of 4 was sometimes > 1 → normalization
- Relation between DNs and main land-cover type proportions

Errors:

	Bias	Absolute error
Impervious	-0.1%	5%
Bare soil	0.2%	6%
Vegeatation	-0.1%	8%
Water	0.0%	0.2%

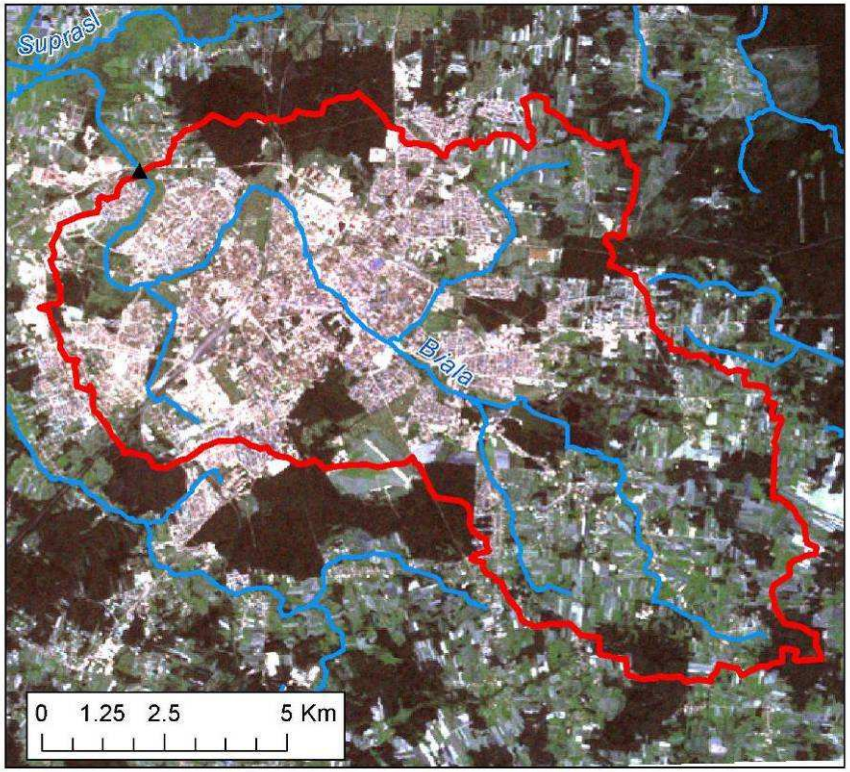
Białystok – zlewnia Białej

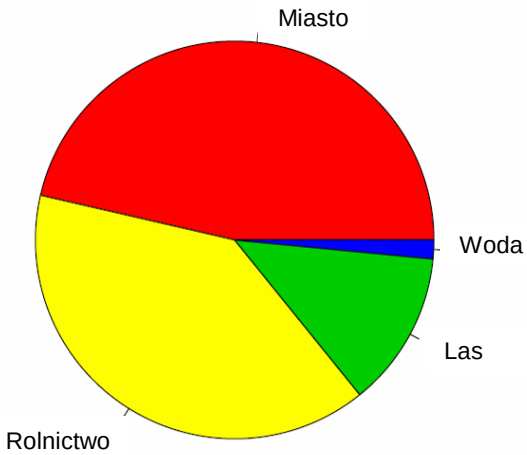
28 km – Rzeka Biała

16 km – Dopływy

231 km – Kanalizacja deszczowa

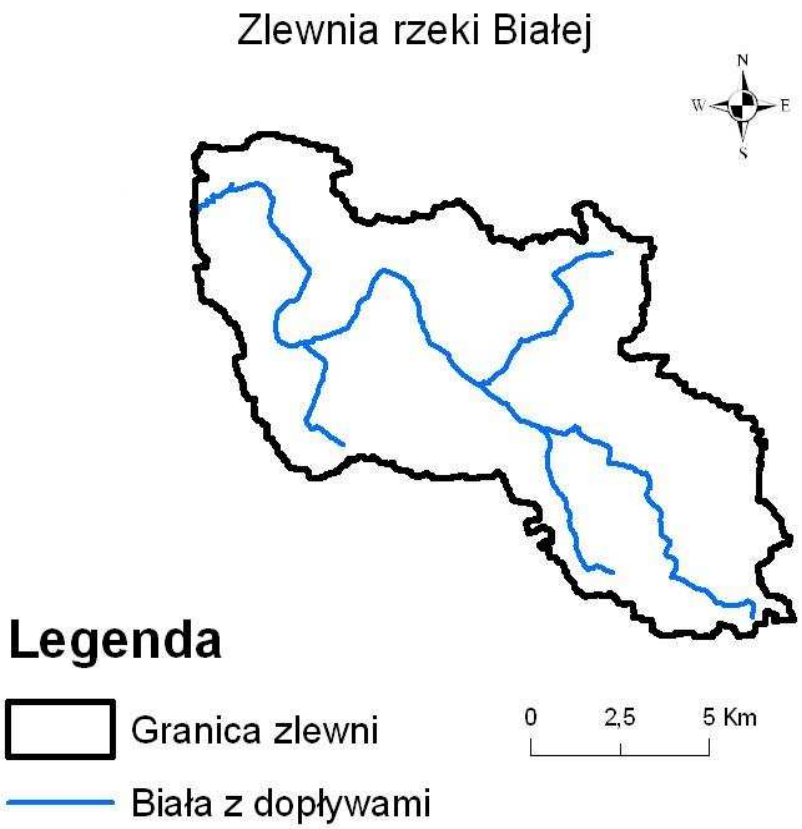
106 km^2 – Powierzchnia zlewni

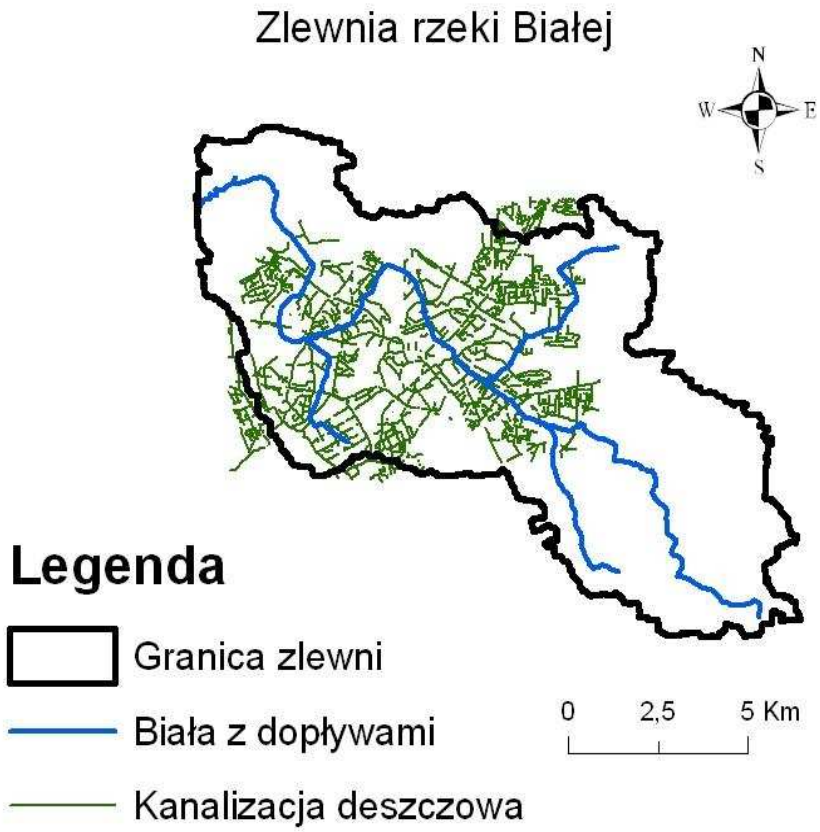




- Krok modelowania 6-cio godzinny
- Wartości odpływu w profilu zamykającym określone na podstawie własnej krzywej przepływu
- Kalibracja: 05-08-2009 do 24-08-2009
- Weryfikacja:25-08-2009 do 15-09-2009

Sieć hydrograficzna zlewni Białej

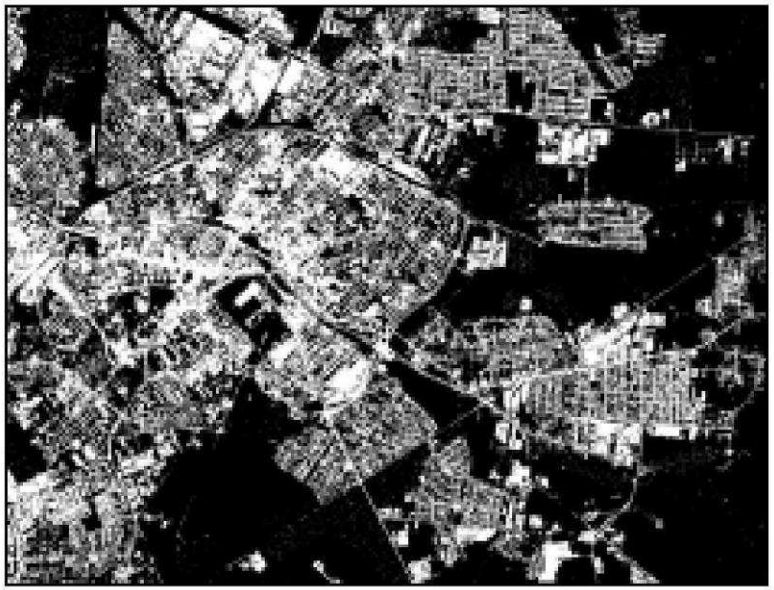


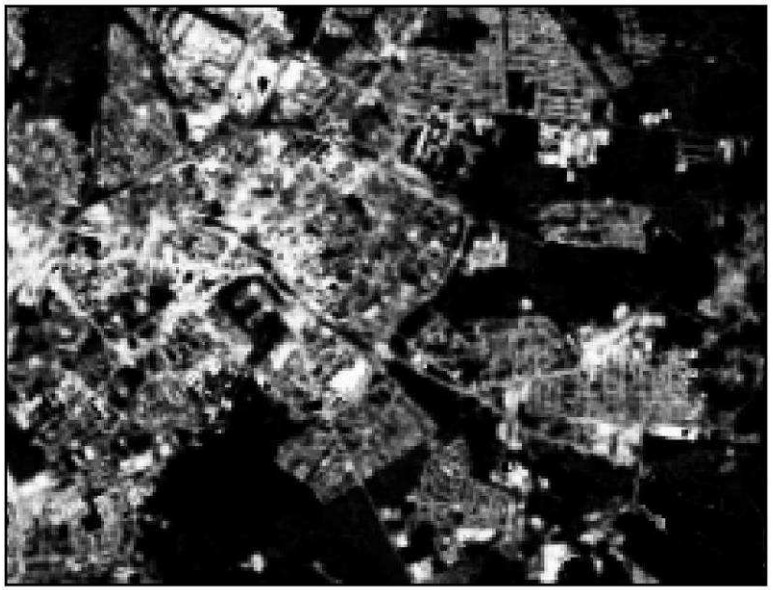


Sieć kanalizacji deszczowej wcięta w NMT narzuca drogi spływu

Dane cyfrowe Ikonos i Landsat (rejestracja obrazów – 16 sierpnia 2007)

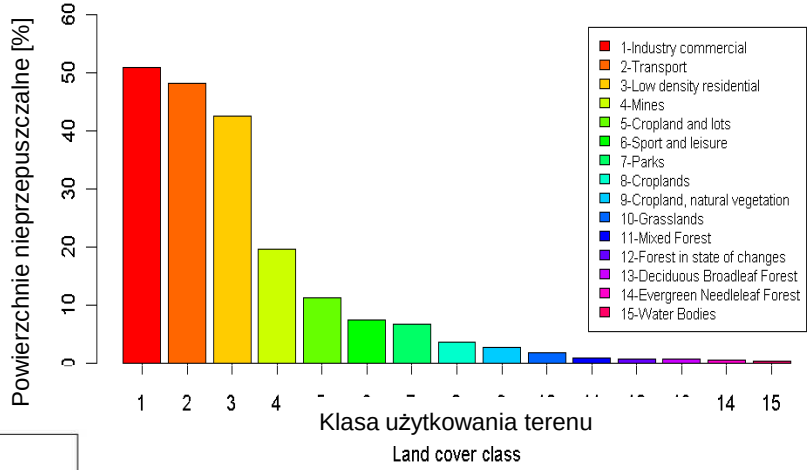
Klasyfikacja pokrycia terenu VHR	Klasyfikacja Sub-pixel MR

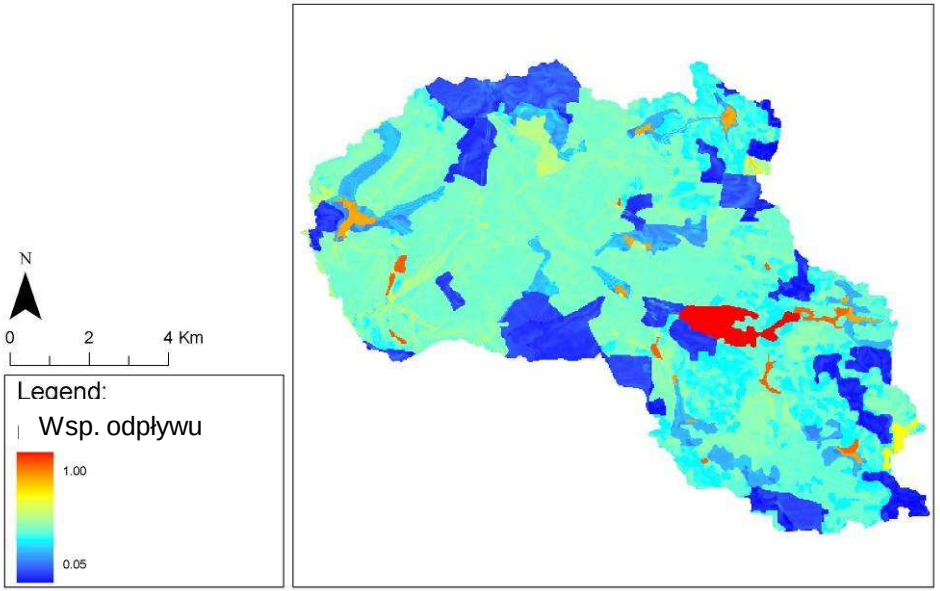




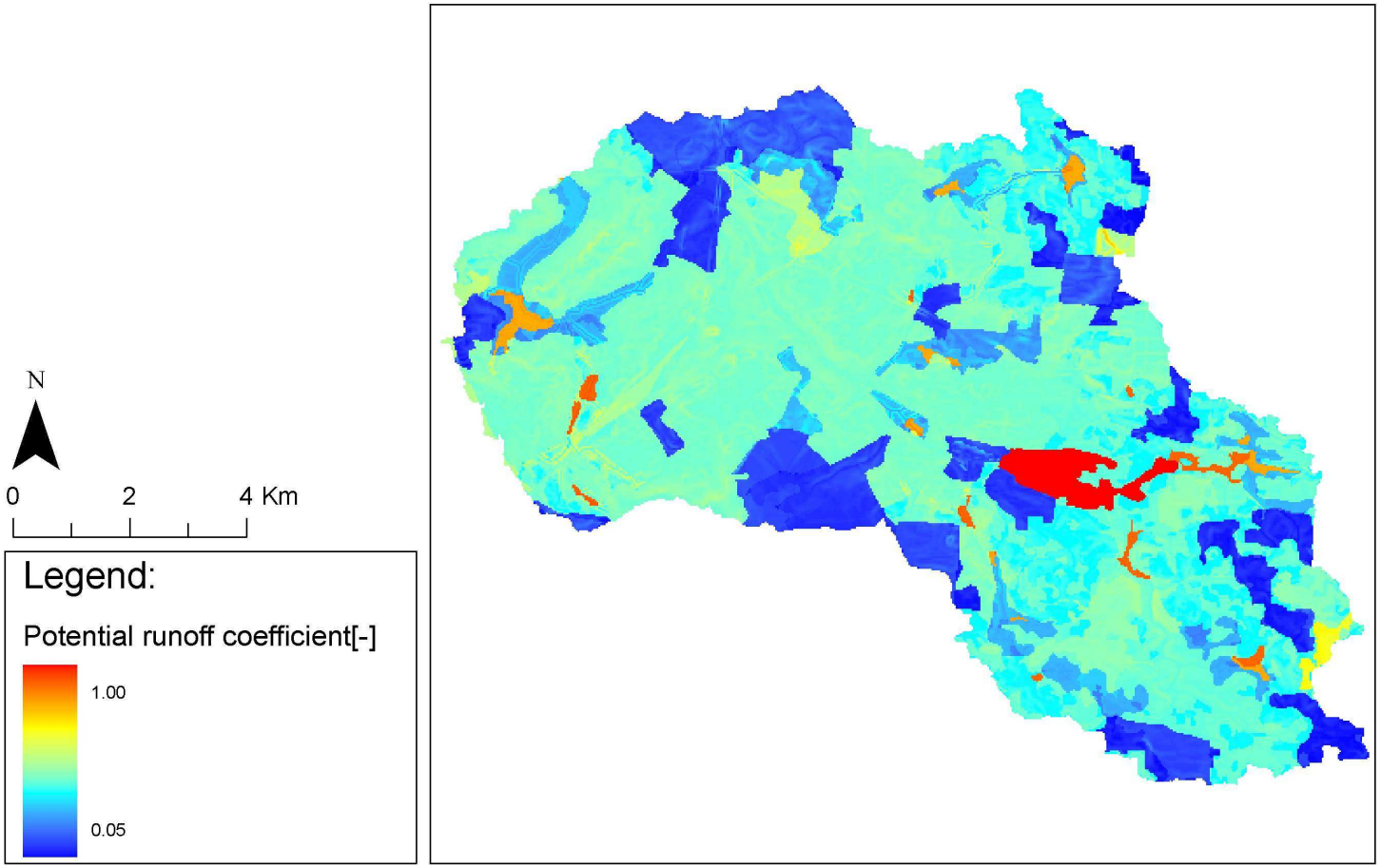
Scenariusz 1

- Procent powierzchni nieprzepuszczalnych przypisany do klasy użytkowania terenu wg CLC 2006

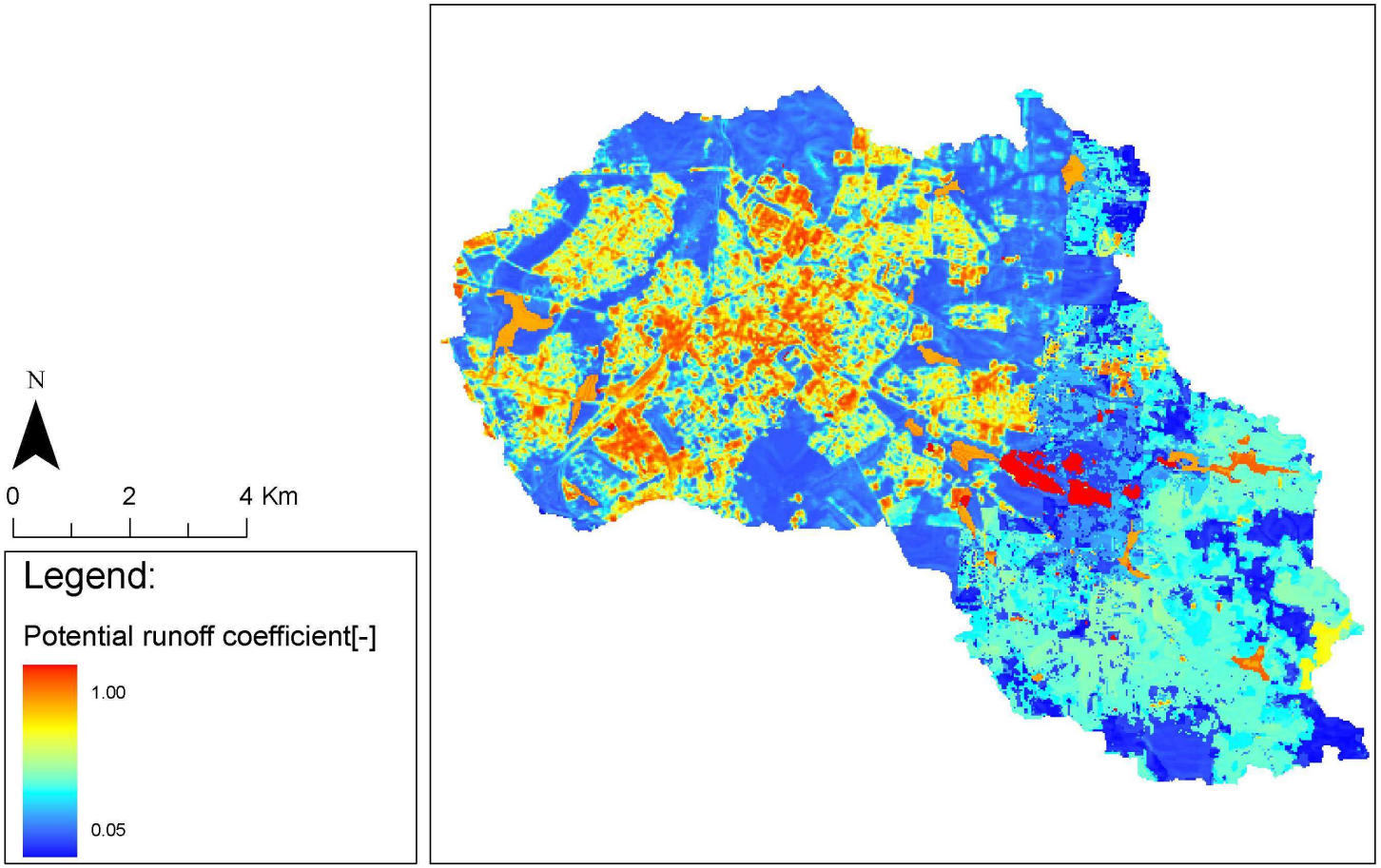




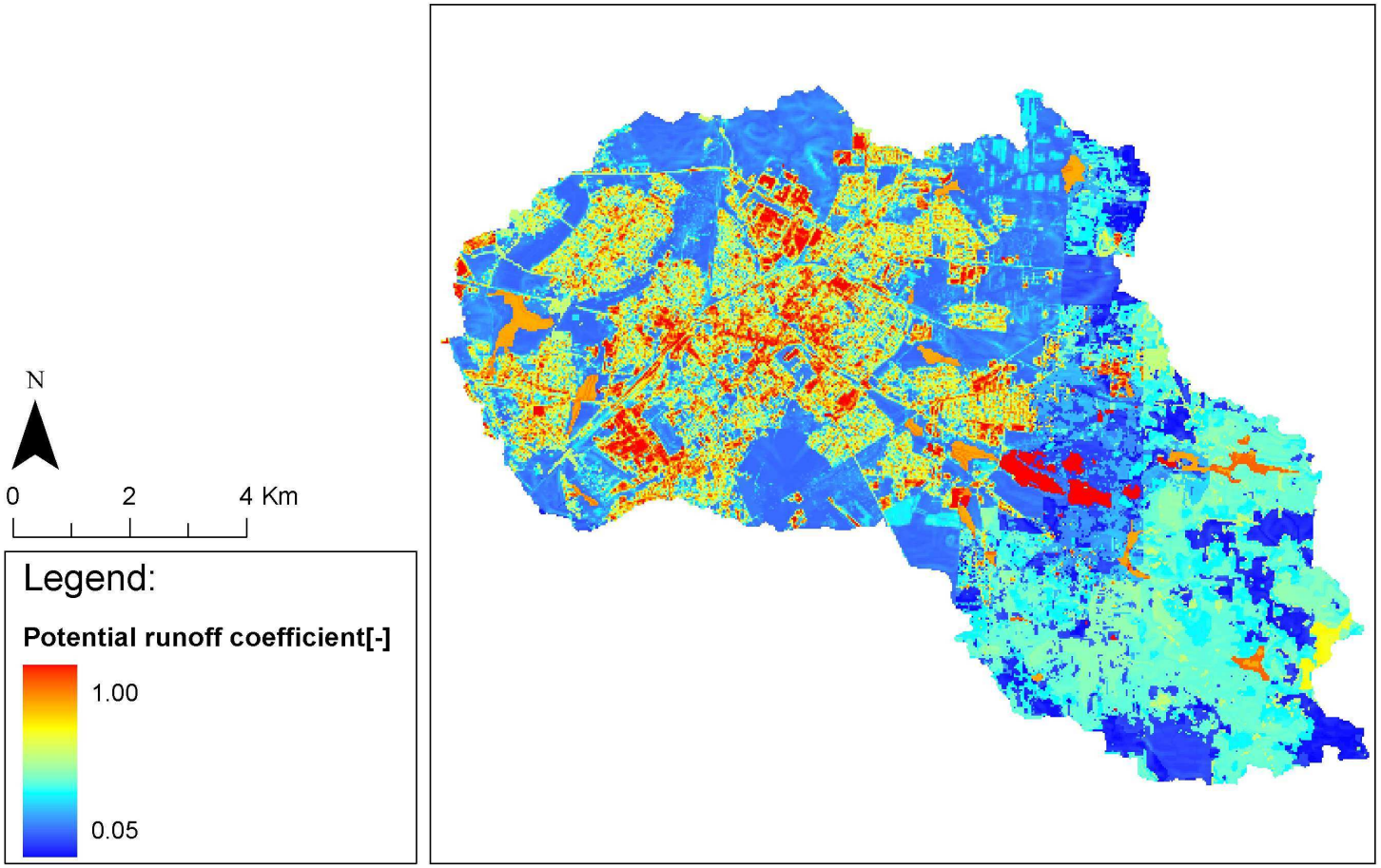
CLC / uśredniony - Scenariusz 1

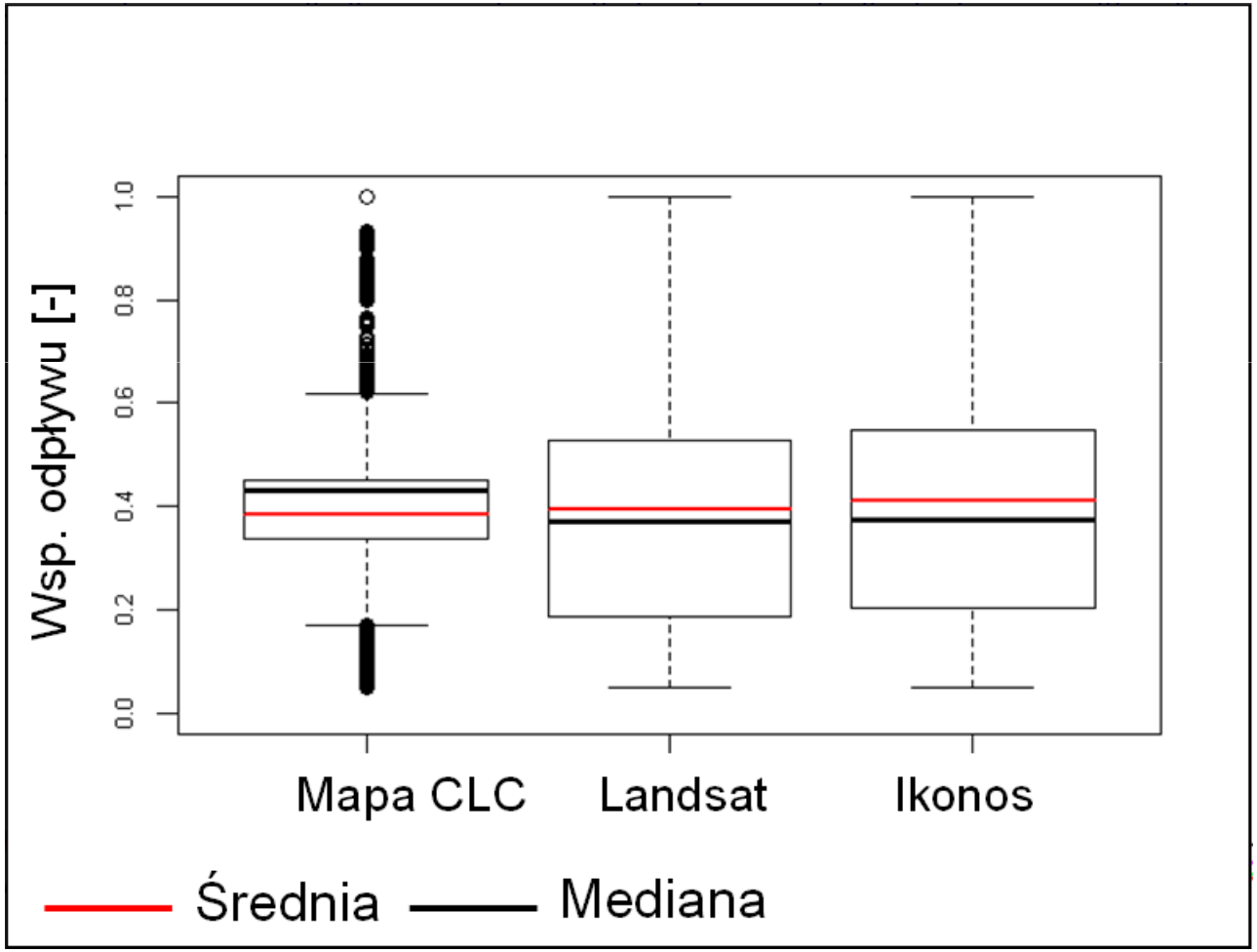


TM / unmixing - Scenariusz 2



IKONOS / klasyfikacja nadzorowana - Scenariusz 3




Wsp. odpływu [-]
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
Mapa CLC
Landsat
Ikonos
Średnia
Mediana

- $$SE = \sum_{i=1}^{N} \left(Q'_i - Q_i\right) / N$$

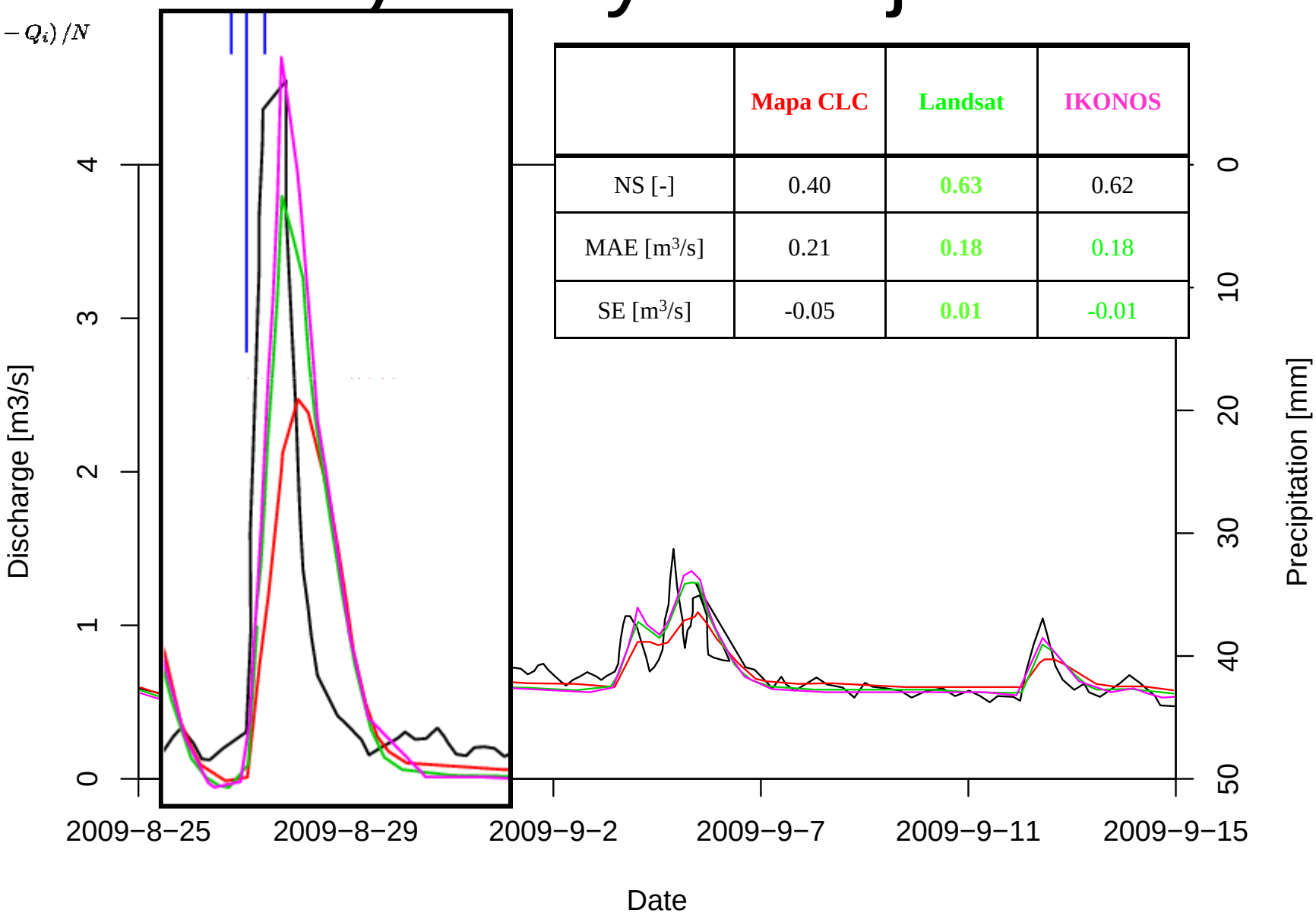
$$NS = 1 - \left(\sum_{i=1}^{N} (Q'_i - Q_i)^2 / \sum_{i=1}^{N} (Q_i - \bar{Q})^2 \right)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^{N} |Q'_i - Q_i| / N$$

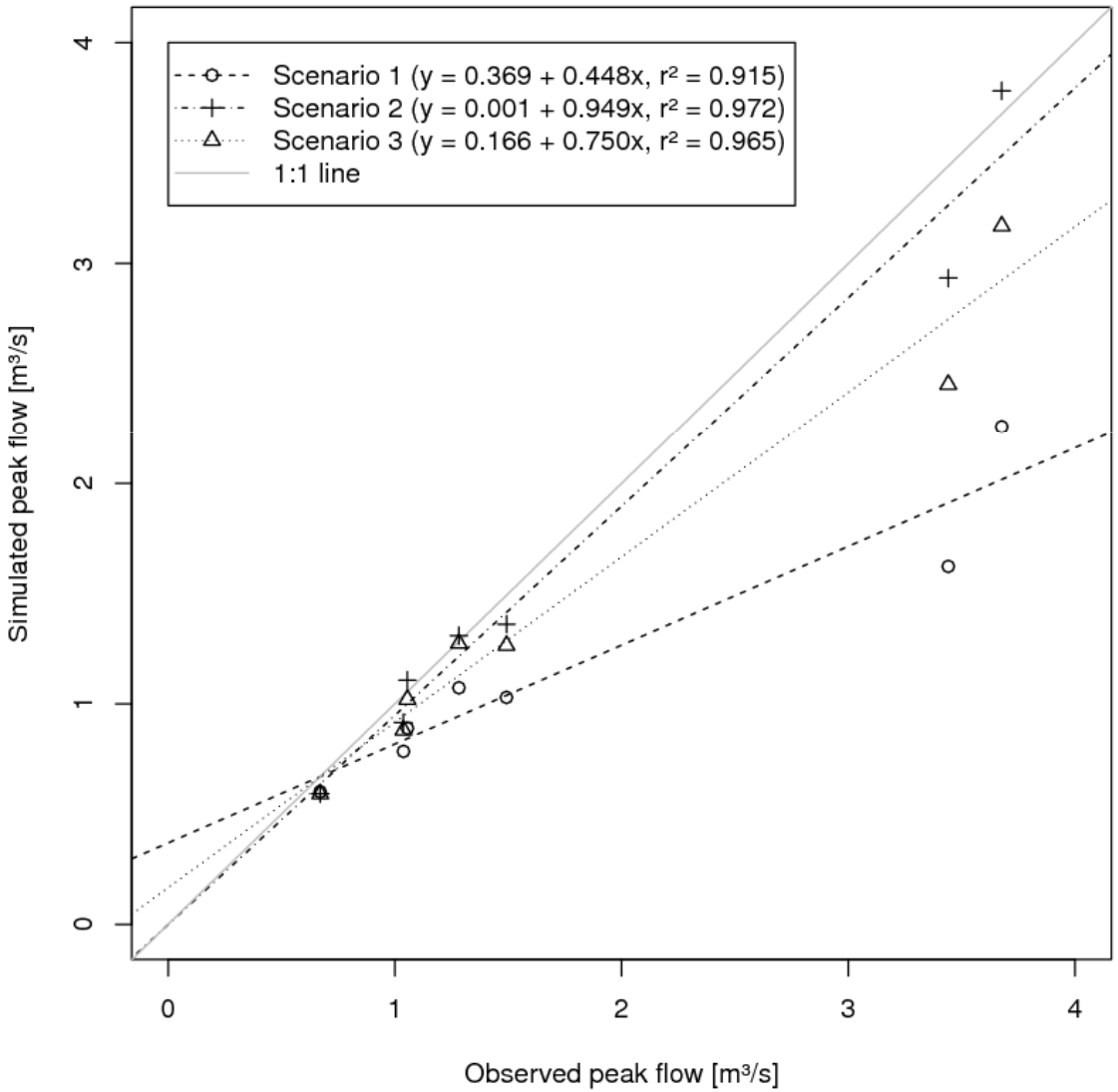
$$SE = \sum_{i=1}^{N} (Q'_i - Q_i) / N$$

Wyniki symulacji

	Mapa CLC	Landsat	IKONOS
NS [-]	0.40	**0.63**	0.62
MAE [m³/s]	0.21	**0.18**	0.18
SE [m³/s]	-0.05	**0.01**	-0.01



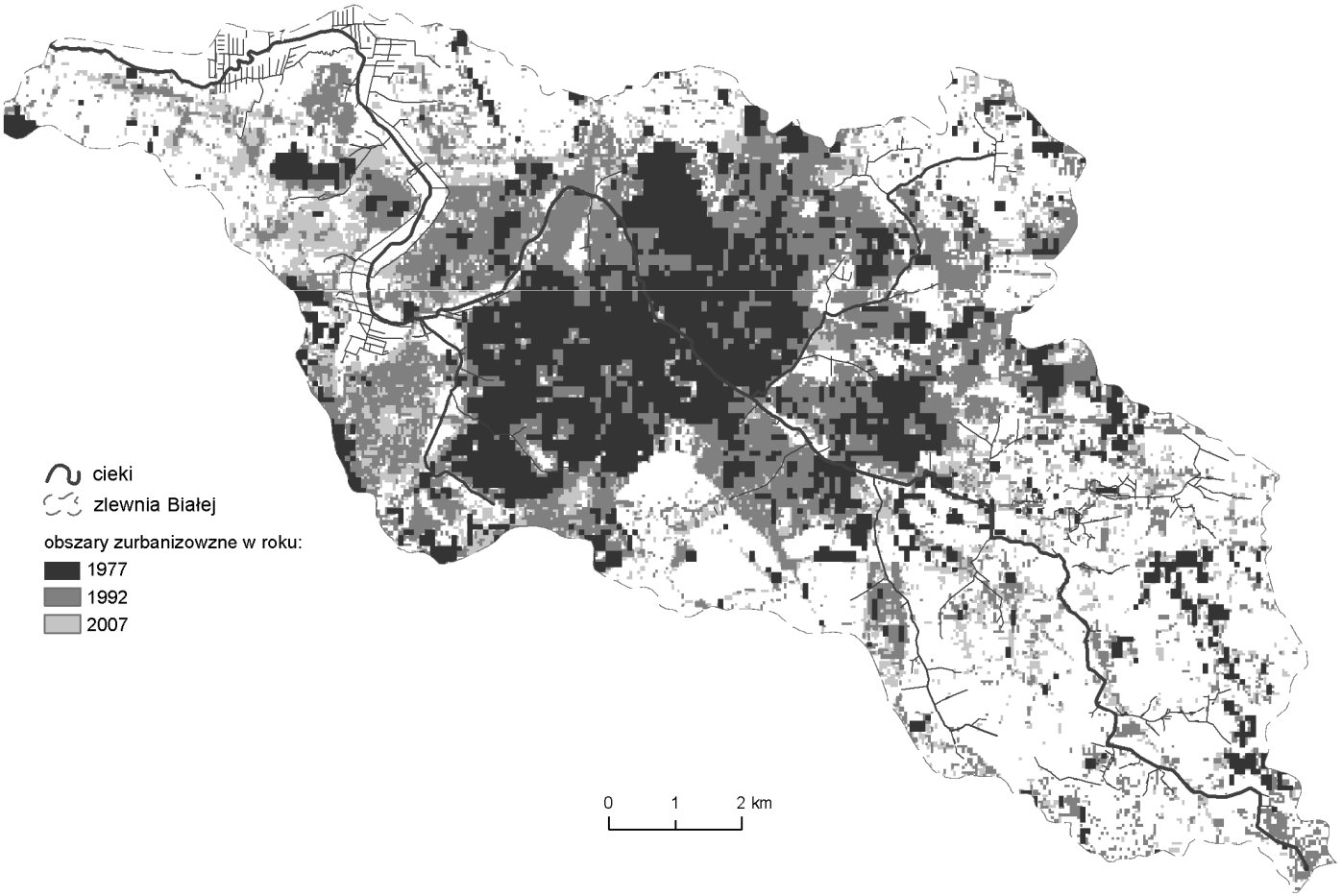
Wyniki symulacji



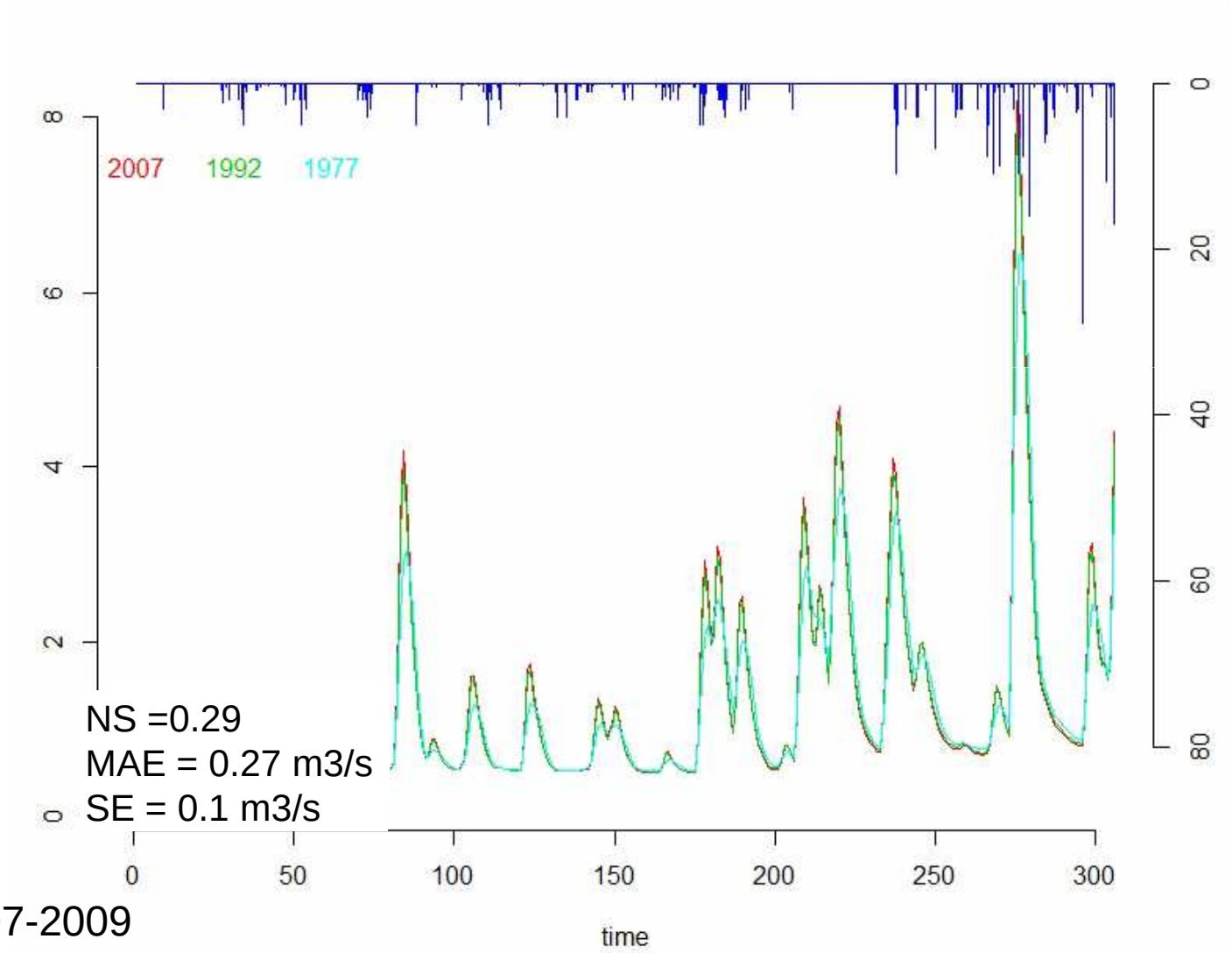
Aplikacja: Analiza wpływu zmian urbanizacyjnych na hydrogram odpływu

- Kalibracja modelu dla scenariusza 2 (Landsat Unmixing)
  - Początek 04-07-2009,
  - Warm-up 80*6h interwałów; Kalibracja 240*6h
- Analiza zdjęć satelitarnych Landsat MSS z 1977 roku oraz Landsat TM z 1992
- Symulacja dla lat 1977, 1992,
- Porównanie wyników z rokiem 2009

Zmiany obszaru zurbanizowanego w latach 1977-2007



Wyniki symulacji WetSpa



Start 04-07-2009

Wnioski

- Zastosowanie metod teledetekcyjnych do parametryzowania procesów hydrologicznych poprawia wyniki modelowania odpływu w mieście
- Zastosowanie struktury rastrowej GRID do rozłożenia parametrów przestrzennych znacznie poprawia wyniki modelowania
- Klasyfikacja Ikonos i podpikselowa Landsat dają podobne wyniki
- Model może być wykorzystany do symulacji wpływu zmian urbanizacyjnych na odpływ