

FILTRACJA DANYCH LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO METODĄ RUCHOMYCH POWIERZCHNI WIELOMIANOWYCH – WERYFIKACJA METODY

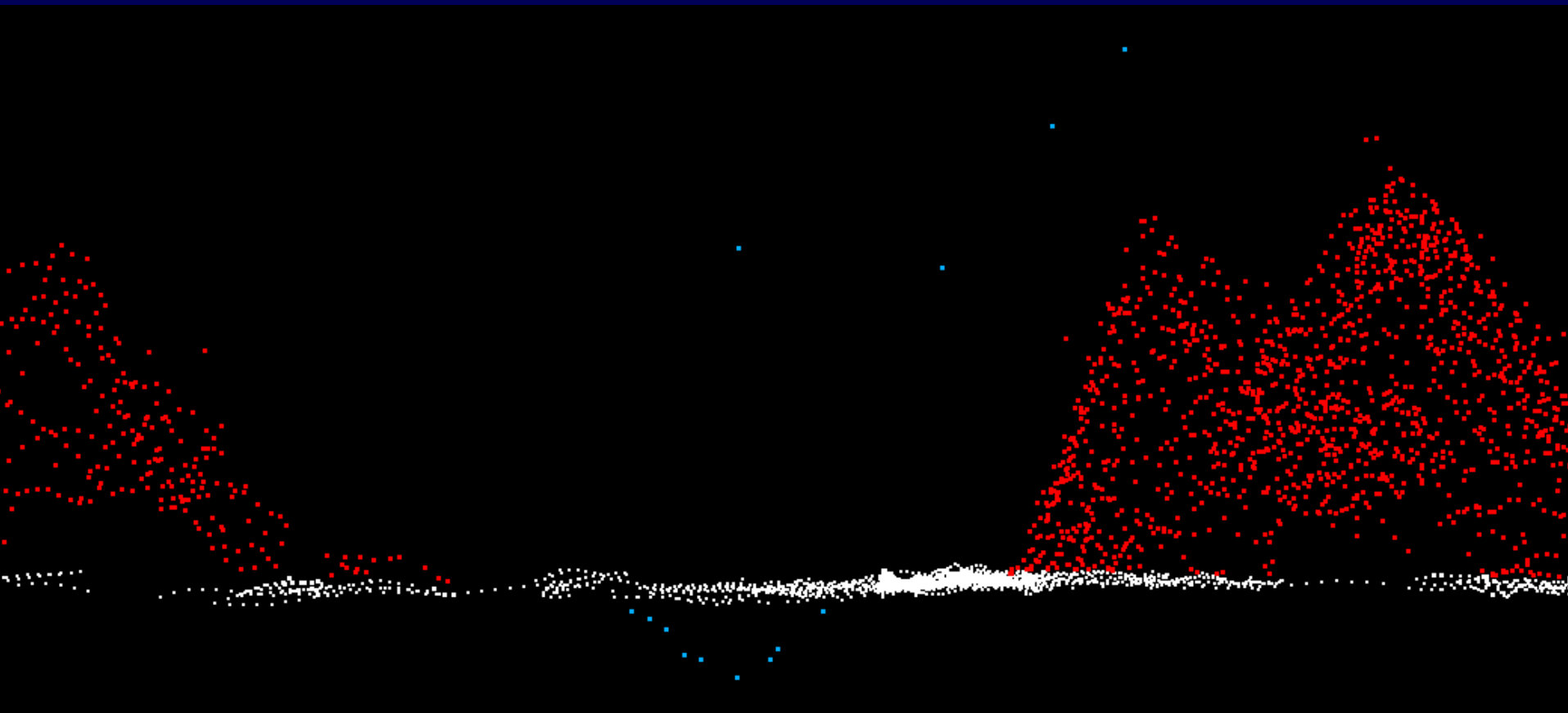
Andrzej Borkowski, Grzegorz Józków

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

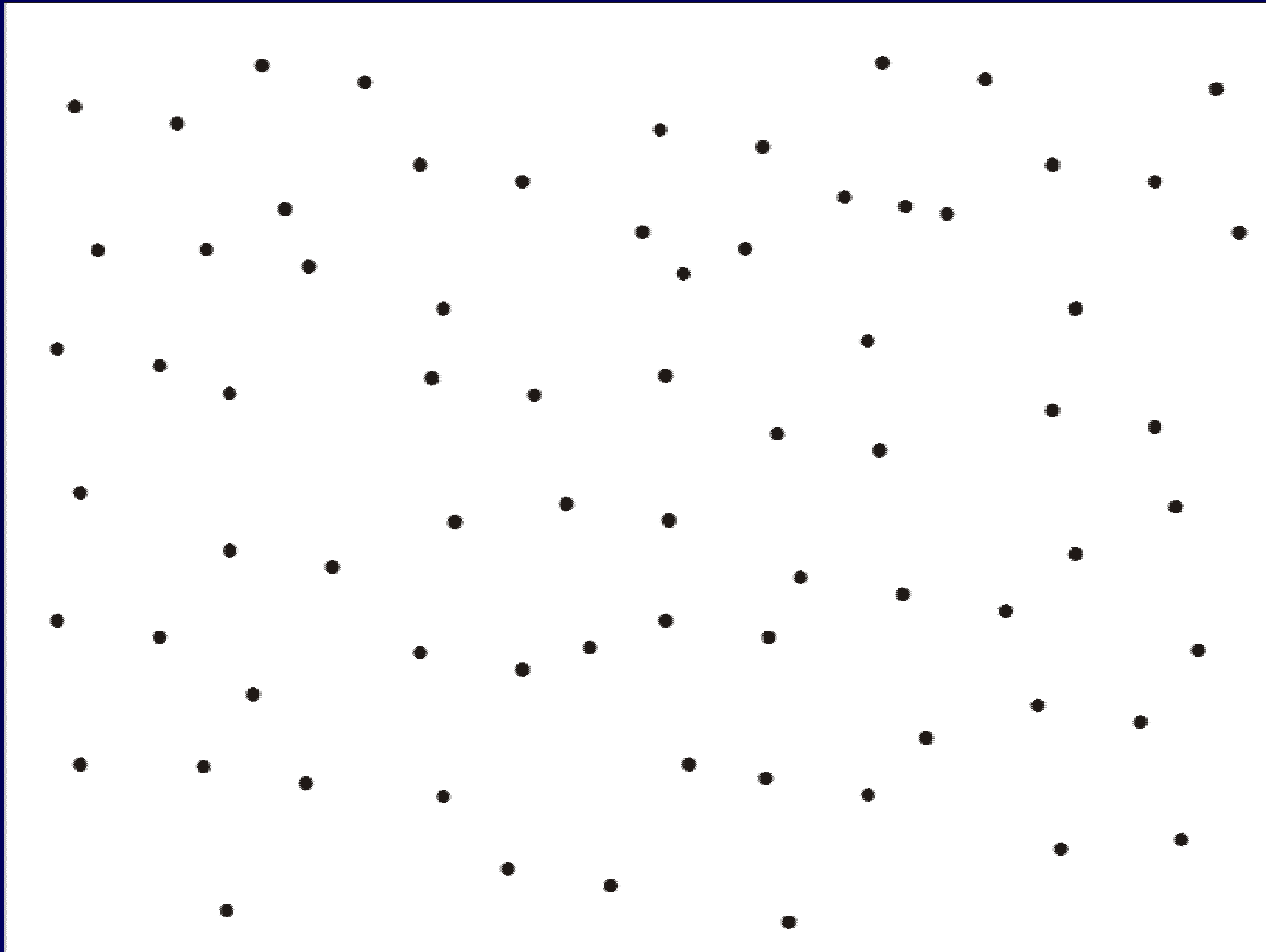
Instytut Geodezji i Geoinformatyki



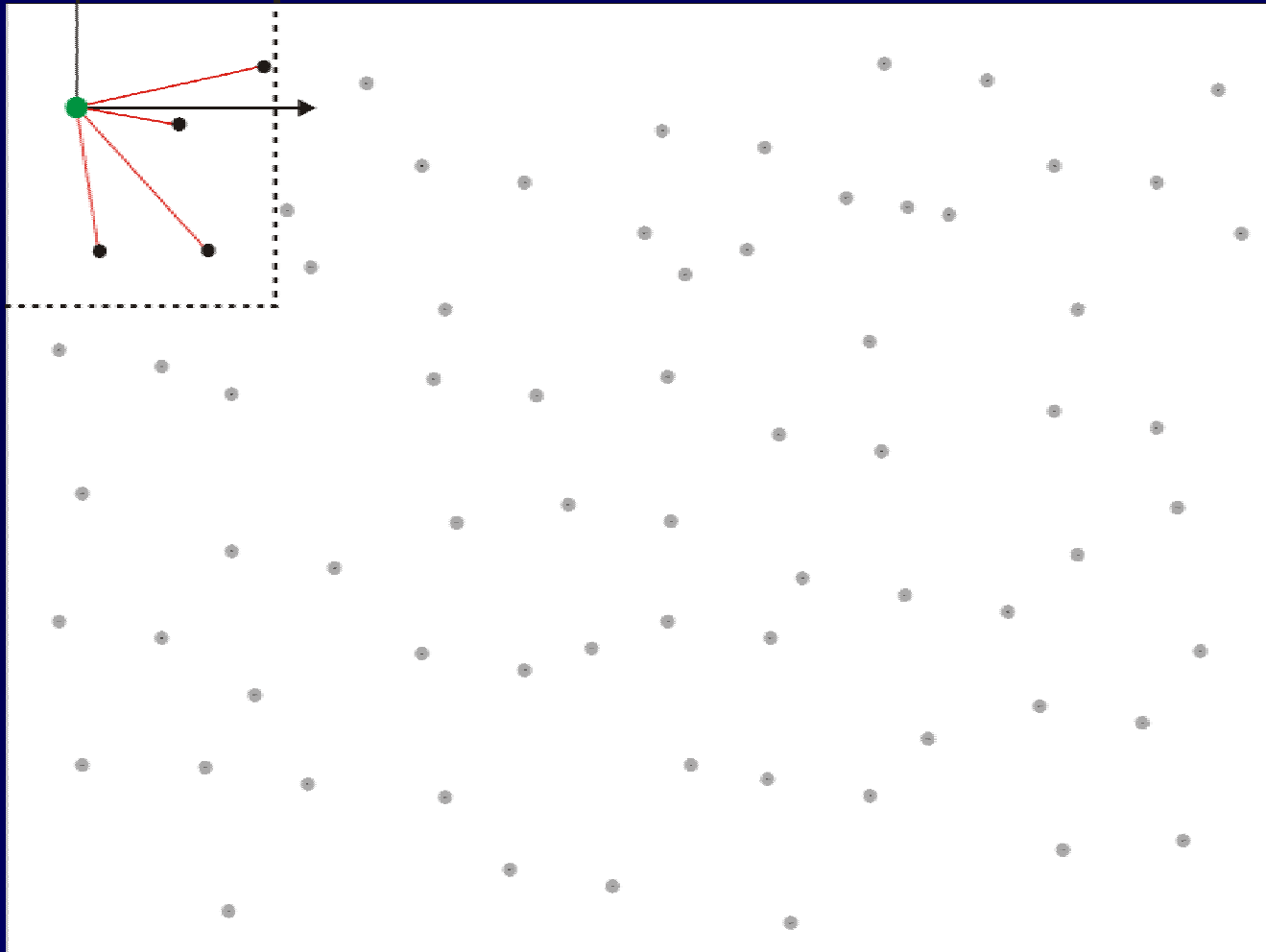
DANE LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO



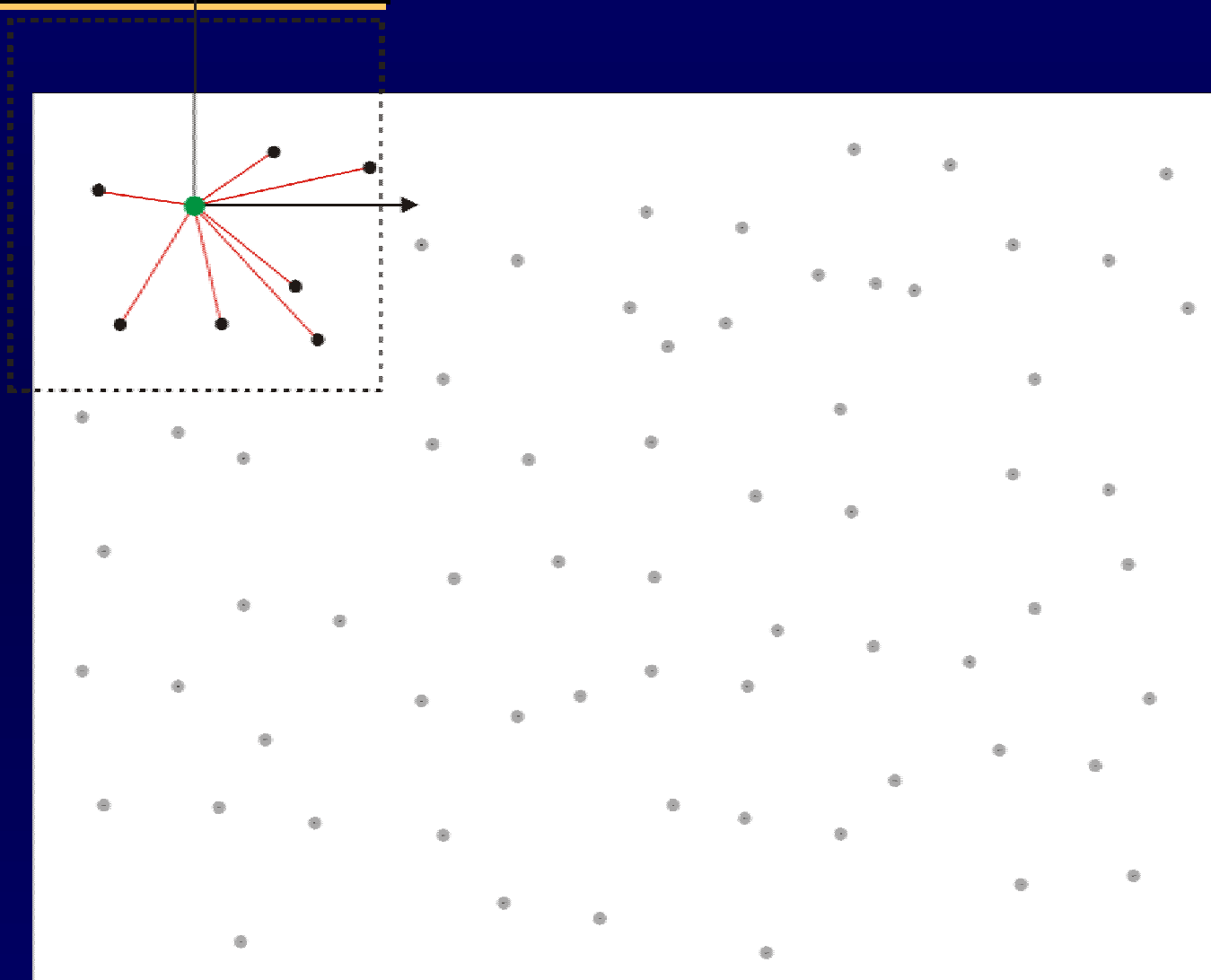
WIELOMIAN RUCHOMY



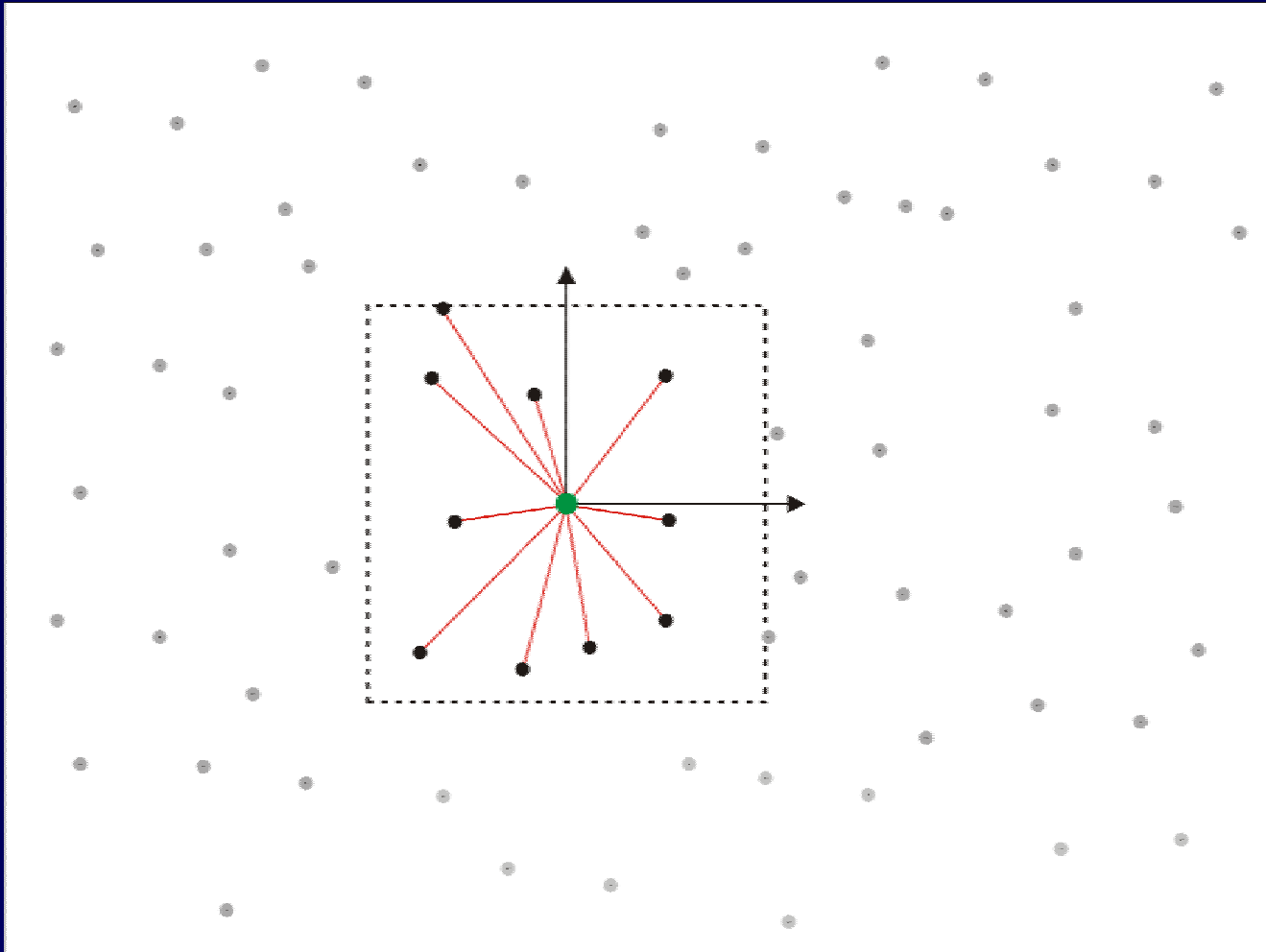
WIELOMIAN RUCHOMY



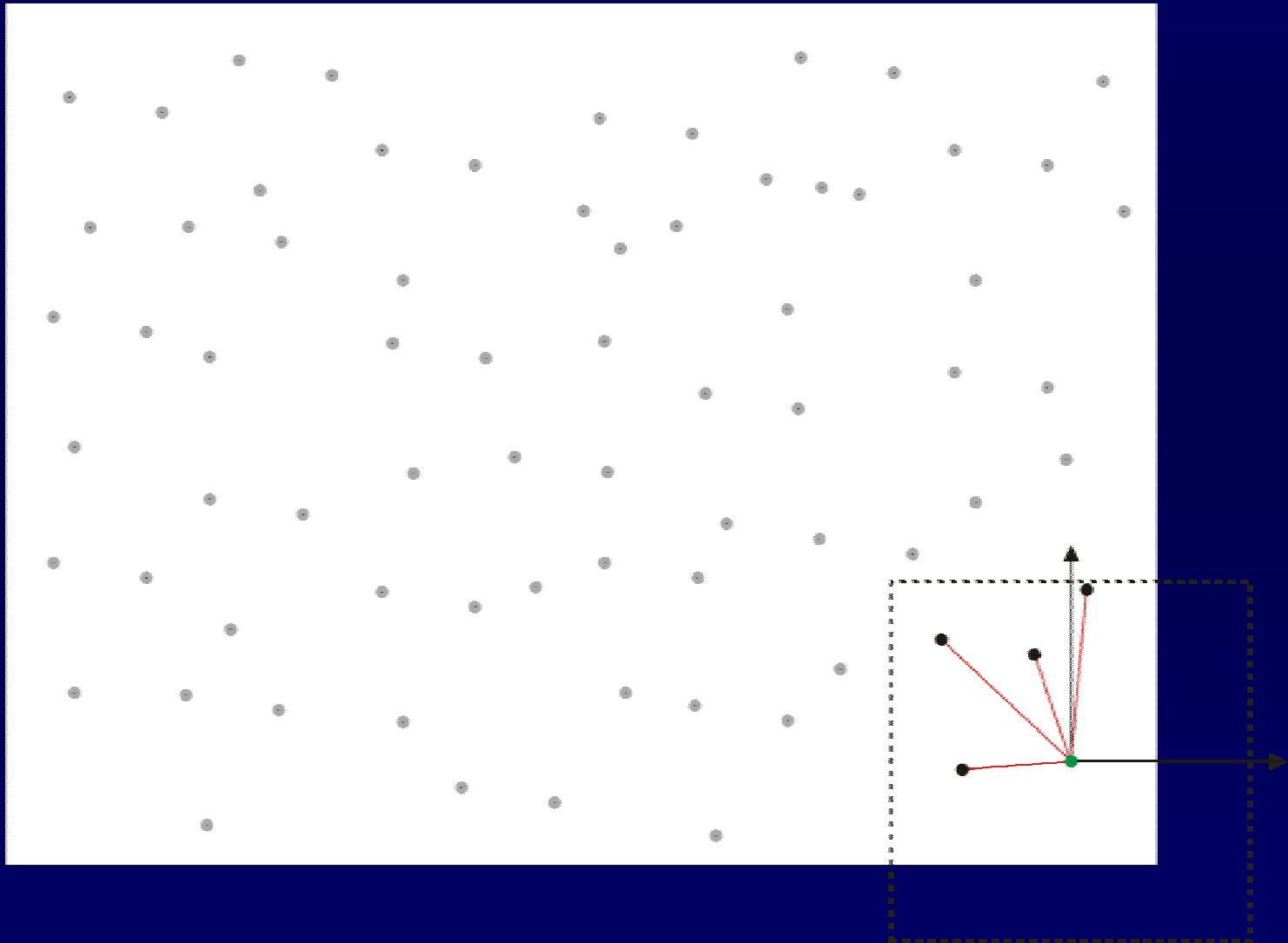
WIELOMIAN RUCHOMY



WIELOMIAN RUCHOMY



WIELOMIAN RUCHOMY



MODEL WIELOMIANU

Wielomian drugiego stopnia:

$$z(x, y) = a_{00} + a_{10} \cdot x + a_{01} \cdot y + a_{11} \cdot x \cdot y + a_{20} \cdot x^2 + a_{02} \cdot y^2$$

$\{x, y, z\}$ - pomierzone współrzędne punktu $a_{i,j}$ - nieznane współczynniki wielomianu lokalnego

Wyznaczenie współczynników metodą najmniejszych kwadratów:

$$A = (B^T \cdot P \cdot B)^{-1} \cdot B^T \cdot P \cdot H$$

$A = [a_{00} \quad a_{10} \quad a_{01} \quad a_{11} \quad a_{20} \quad a_{02}]^T$ - macierz współczynników wielomianu

$P = \text{diag}\{p_1 \quad p_2 \quad \dots \quad p_n\}$ - macierz wag, gdzie wartości wag p_i zależą od odległości punktu od punktu interpolowanego

$\{x_i, y_i, z_i\}$ - współrzędne punktów pomiarowych

$$B = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1 \cdot y_1 & x_1^2 & y_1^2 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2 \cdot y_2 & x_2^2 & y_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n & x_n \cdot y_n & x_n^2 & y_n^2 \end{bmatrix} \quad H = [z_1 \quad z_2 \quad \dots \quad z_n]^T$$

ESTYMACJA ODPORNA

Odporna estymacja parametrów wielomianu:

$$A^{(K)} = (B^T \cdot P^{(K-1)} \cdot B)^{-1} \cdot B^T \cdot P^{(K-1)} \cdot H$$

$A^{(K)}$ - parametry wielomianu obliczone w K kroku iteracji

$P^{(K-1)}$ - wagi obliczone w $K-1$ kroku iteracji

Modyfikacja wag:

$$p_i^{(K)} = p_i \cdot q(v_i^{(K-1)})$$

$v_i^{(K-1)}$ - residua pomiędzy pomierzoną a obliczoną w $K-1$ kroku iteracji wysokością

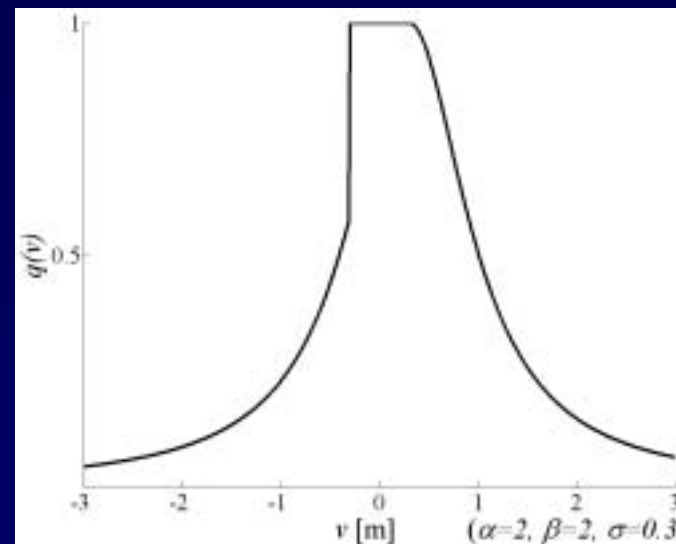
p_i - wagi początkowe

$q(v)$ - funkcja tłumienia

Funkcja Krausa:

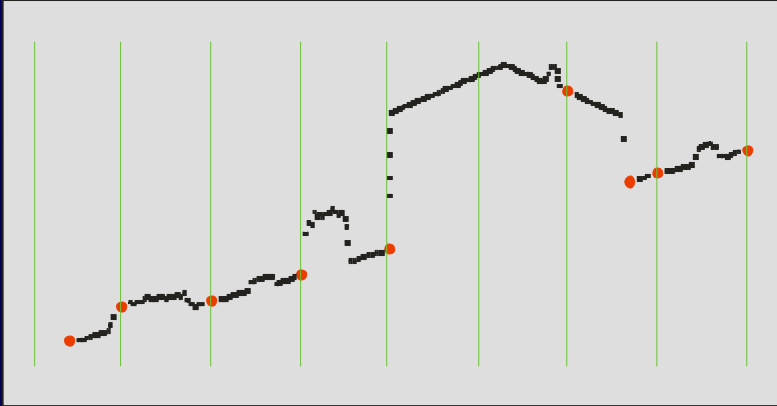
$$q(v) = \begin{cases} 1, & |v| \leq \sigma \\ \frac{1}{1 + (\alpha \cdot |v - \sigma|)^\beta}, & |v| > \sigma \end{cases}$$

α, β, σ - empirycznie dobierane parametry

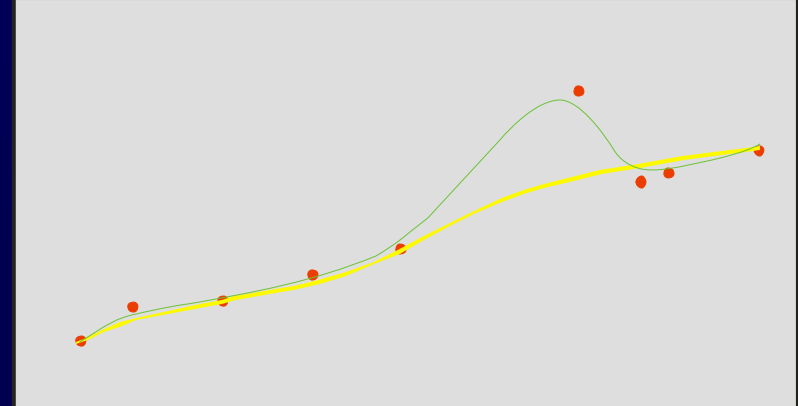


FILTRACJA HIERARCHICZNA

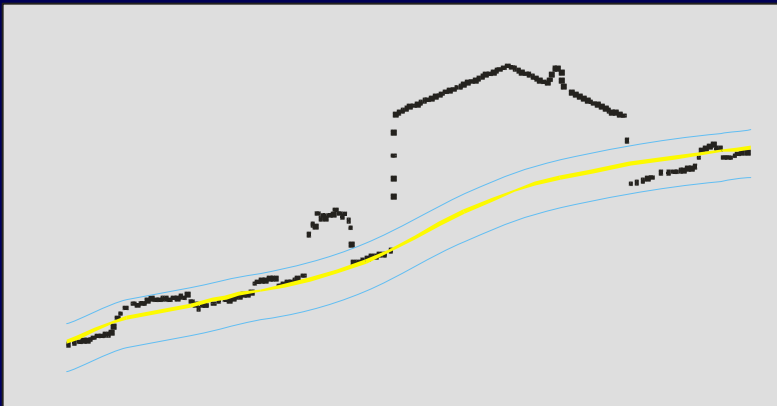
✦ podział obszaru na mniejsze podobszary i wybranie dla każdego z nich punktu reprezentatywnego



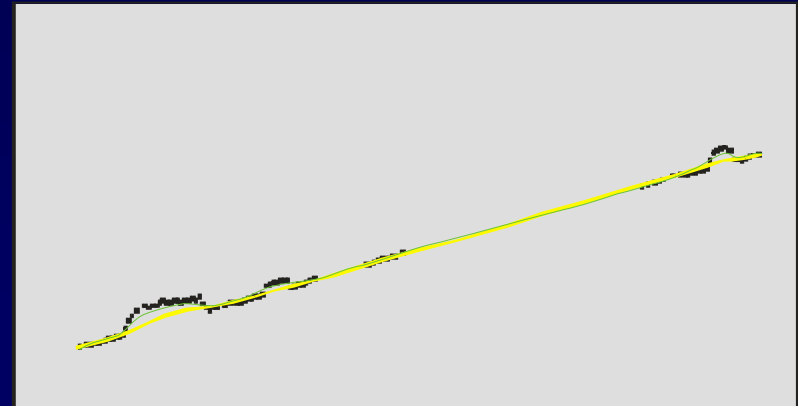
✦ interpolacja wysokości w punktach reprezentatywnych, stworzony zostaje model trendu



✦ usunięcie ze zbioru punktów, które nie mieszczą się w ustalonym buforze trendu terenu



✦ interpolacja wysokości w punktach mieszczących się w buforze



ZBIORY TESTOWE

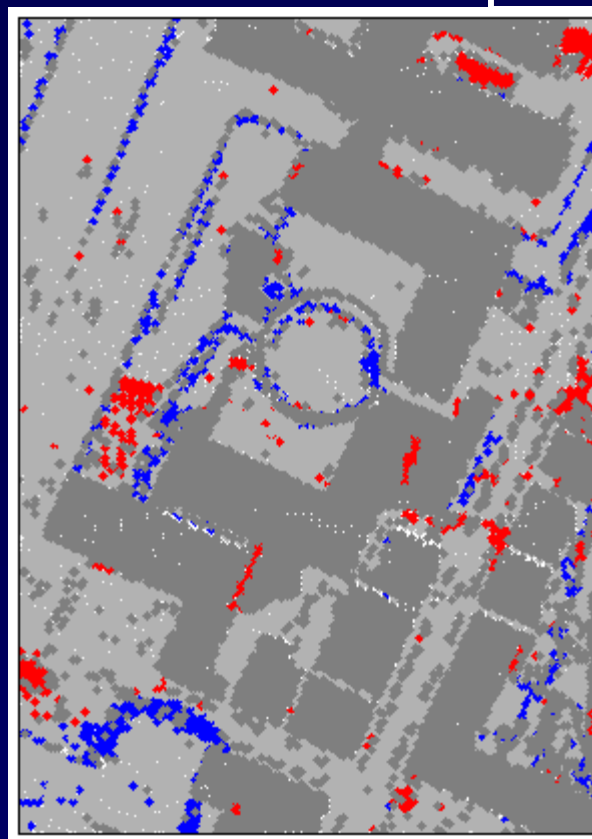
- 15 zbiorów [<http://www.itc.nl/isprswgIII-3/filtertest/Reference.zip>],
- dane pozyskane skanerem Optech ALTM (rejestrowane pierwsze i ostatnie odbicie),
- od 7492 do 52119 punktów w zestawie,
- odległość pomiędzy sąsiednimi punktami:
 - dla 9 zbiorów od 1 do 1,5 m (gęstość 0,67 punktu/m²),
 - dla 6 zbiorów od 2 do 3,5 m (gęstość 0,18 punktu/m²),
- do każdego zestawu dołączone dane referencyjne
- dane pozyskane dla terenów o różnej charakterystyce i z różnymi obiektami nieterenowymi.

SPOSÓB WERYFIKACJI

●	Punkty terenu poprawnie sklasyfikowane	a
●	Punkty terenu sklasyfikowane jako punkty obiektów (błąd typu 1)	b
●	Punkty obiektów sklasyfikowane jako punkty terenu (błąd typu 2)	c
●	Punkty obiektów poprawnie sklasyfikowane	d

Dane referencyjne	Punkty terenu	a + b
	Punkty obiektów	c + d
Wyniki filtracji	Punkty terenu	a + c
	Punkty obiektów	b + d

25095	Po filtracji		Samp23
Ref.	Teren	Obiekt	
Teren	12485	738	13223
Obiekt	696	11176	11872
	13181	11914	
	σ_1 [%]	5,58	
	σ_2 [%]	5,86	
	σ [%]	5,71	



Procentowe błędy filtracji:

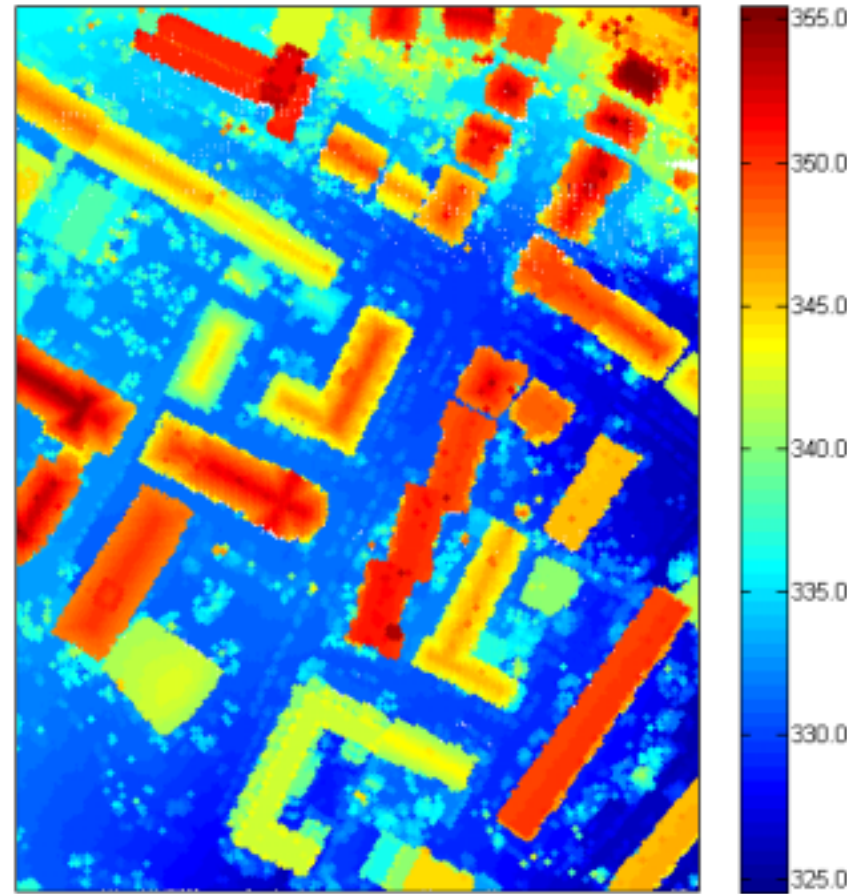
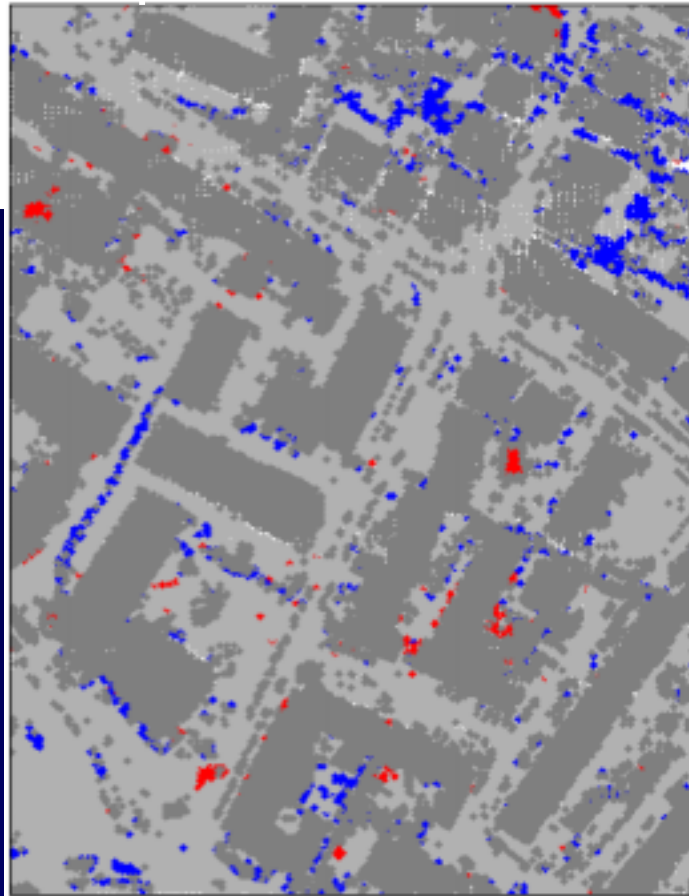
$$\sigma_1 = \frac{b}{a + b}$$

$$\sigma_2 = \frac{c}{c + d}$$

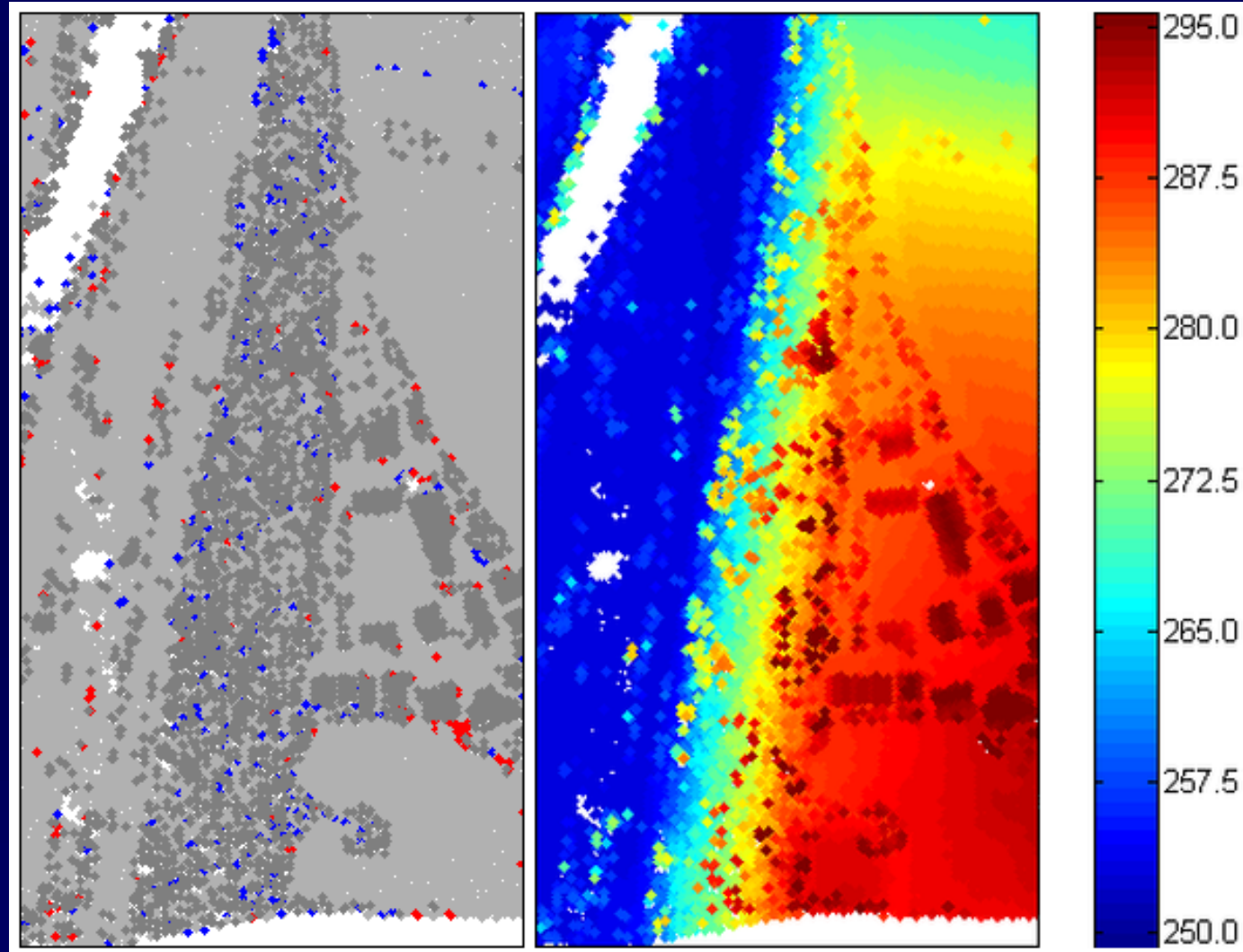
$$\sigma = \frac{b + c}{a + b + c + d}$$

PRZYKŁAD „SAMP12”

52119	Po filtracji		<u>Samp12</u>
Ref.	Teren	Obiekt	
Teren	25003	1688	26691
Obiekt	390	25038	25428
	25393	26726	
	σ_1 [%]	6,32	
	σ_2 [%]	1,53	
	σ [%]	3,99	



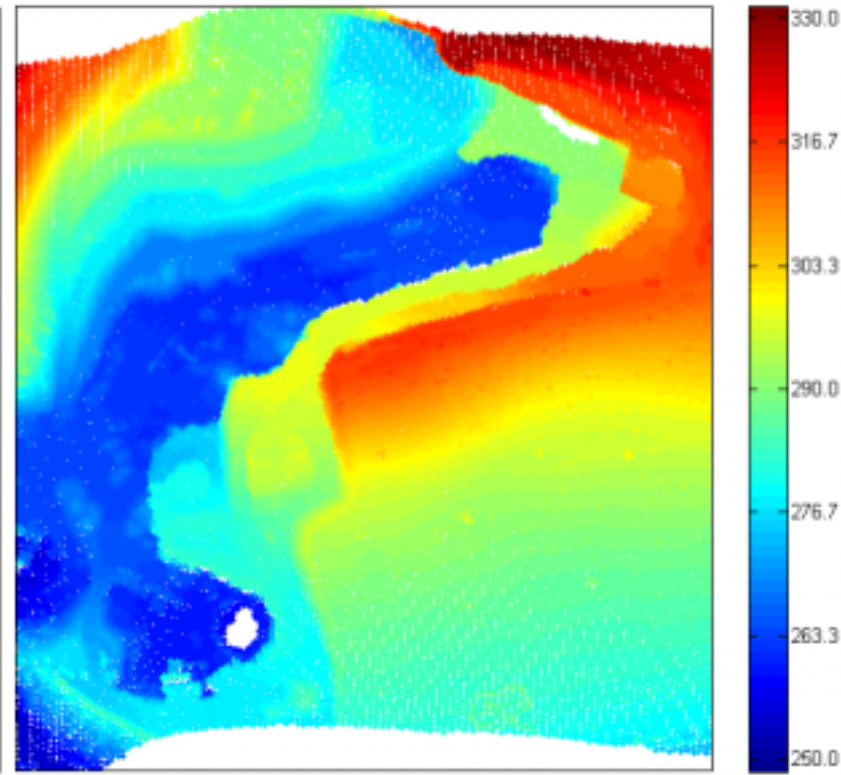
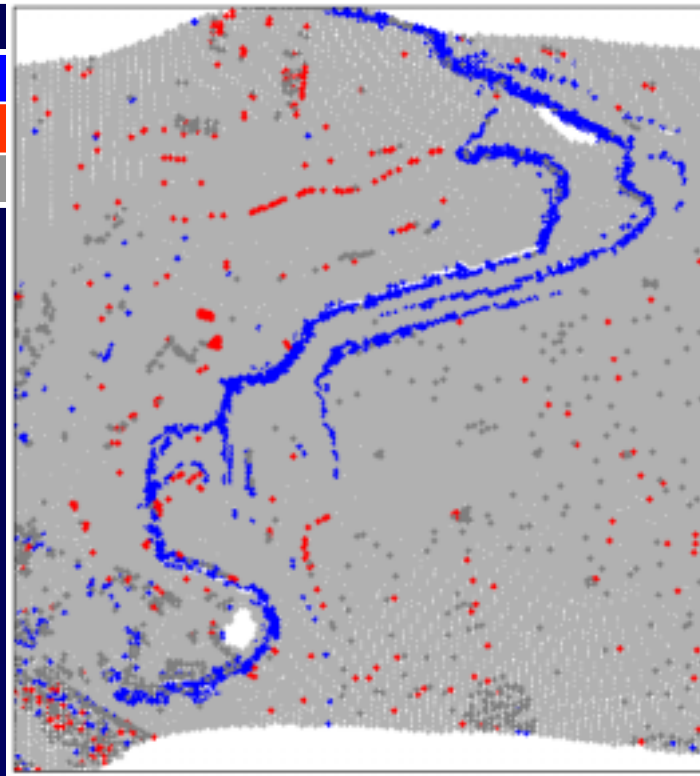
PRZYKŁAD „SAMP51”



17845	Po filtracji		<u>Samp51</u>
Ref.	Teren	Obiekt	
Teren	13626	324	13950
Obiekt	139	3756	3895
	13765	4080	
	σ_1 [%]	2,32	
	σ_2 [%]	3,57	
	σ [%]	2,59	

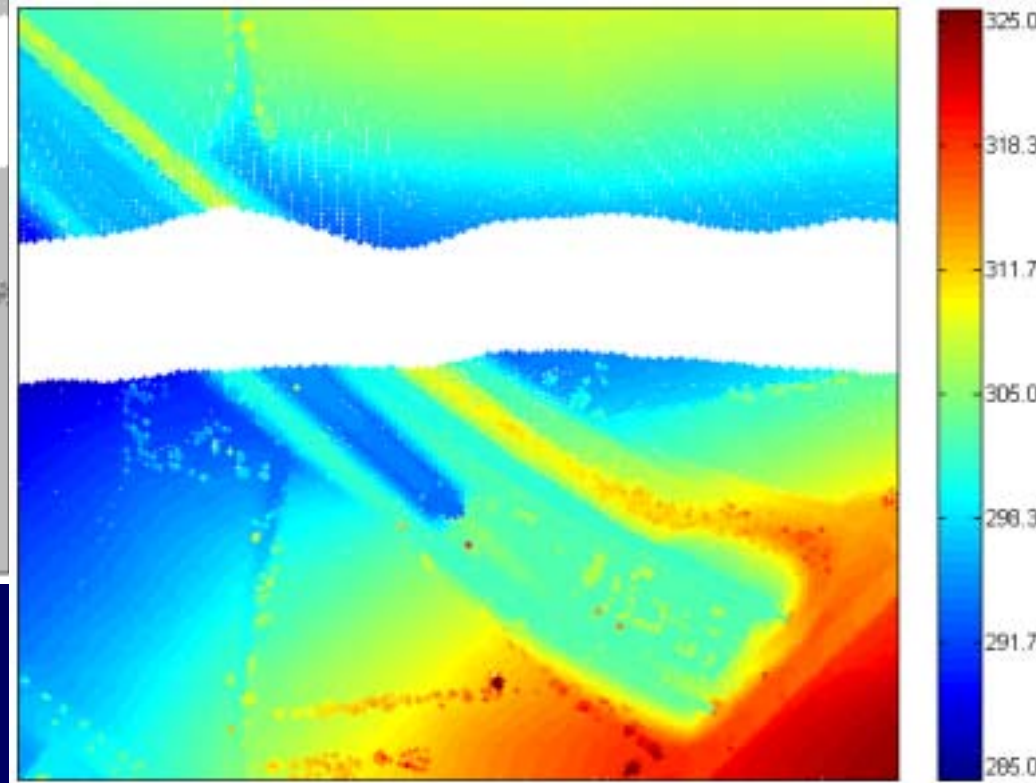
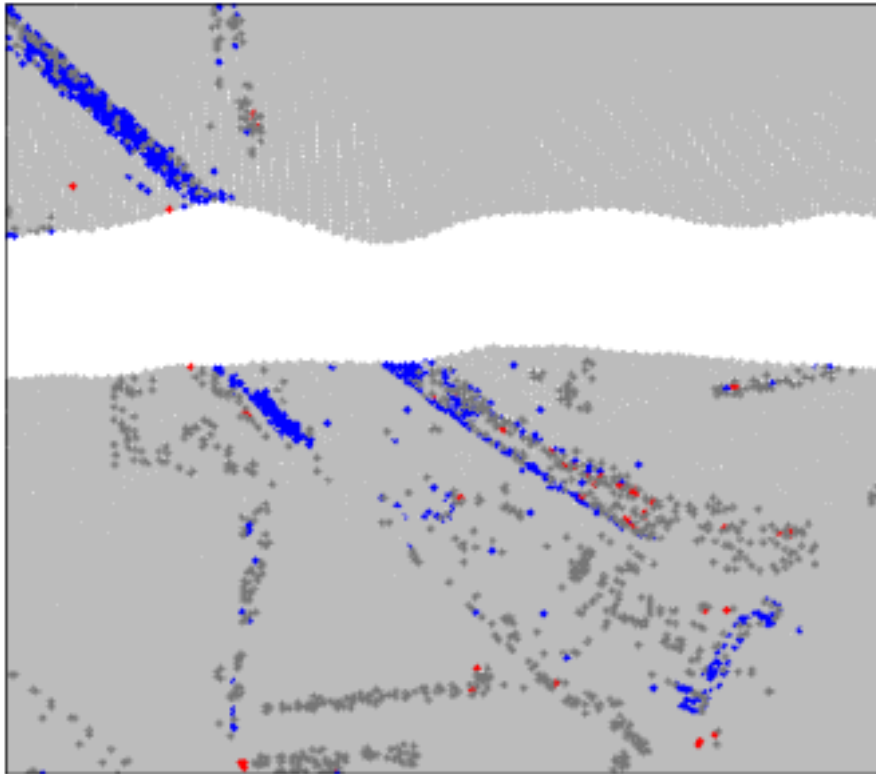
PRZYKŁAD „SAMP53”

34378	Po filtracji		<u>Samp53</u>
Ref.	Teren	Obiekt	
Teren	31317	1672	32989
Obiekt	364	1025	1389
	31681	2697	
	σ_1 [%]	5,07	
	σ_2 [%]	26,21	
	σ [%]	5,92	

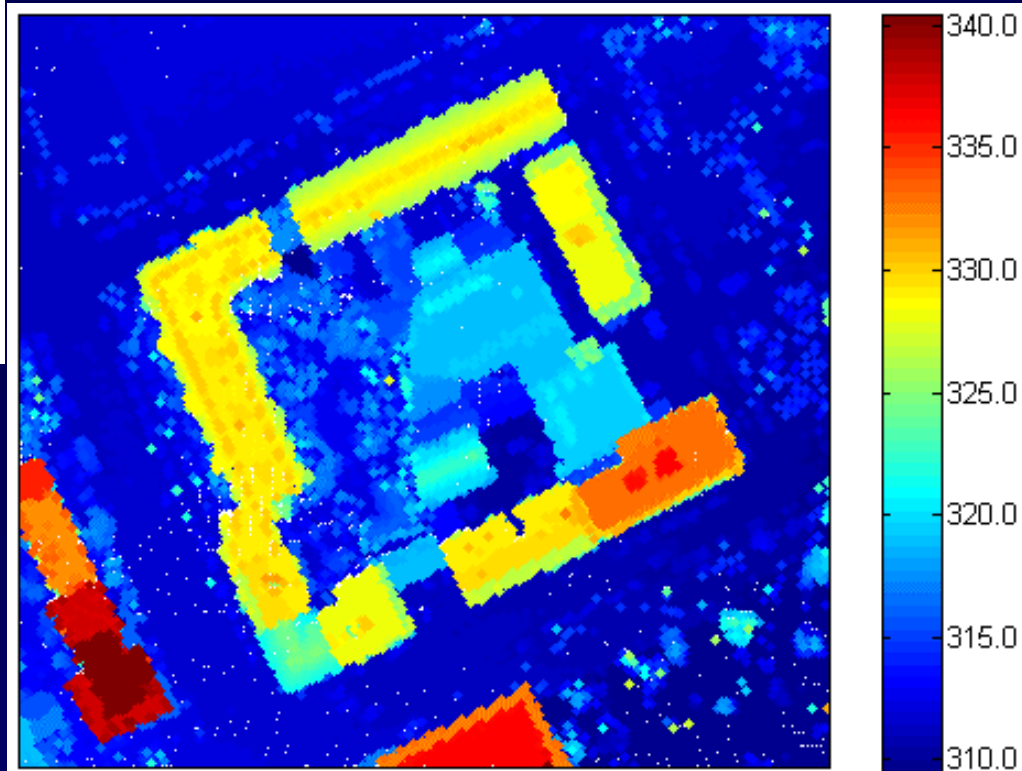
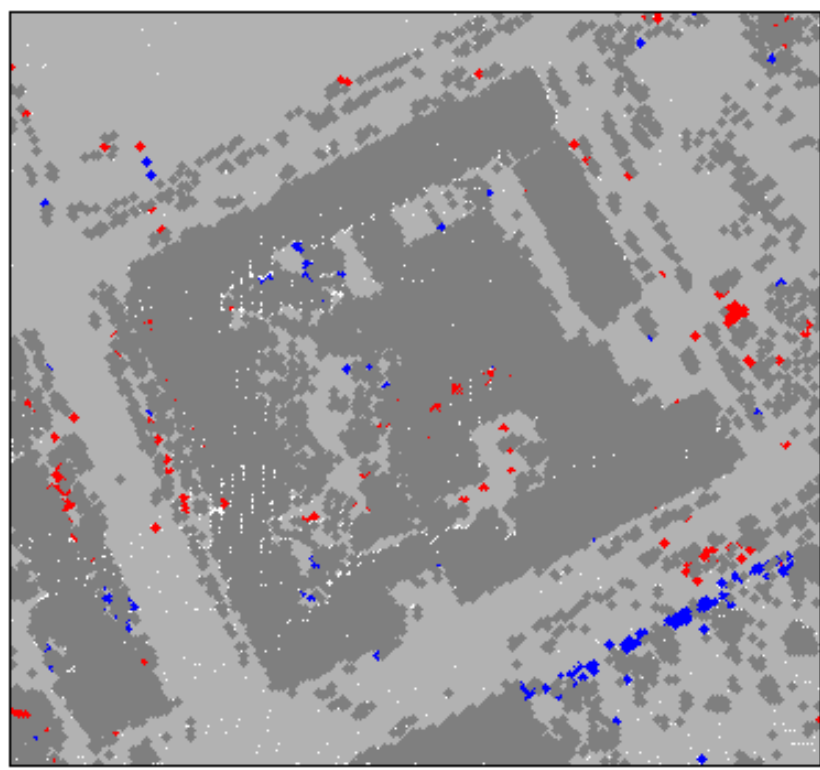


PRZYKŁAD „SAMP61”

35060	Po filtracji		<u>Samp61</u>
Ref.	Teren	Obiekt	
Teren	33240	614	33854
Obiekt	52	1154	1206
	33292	1768	

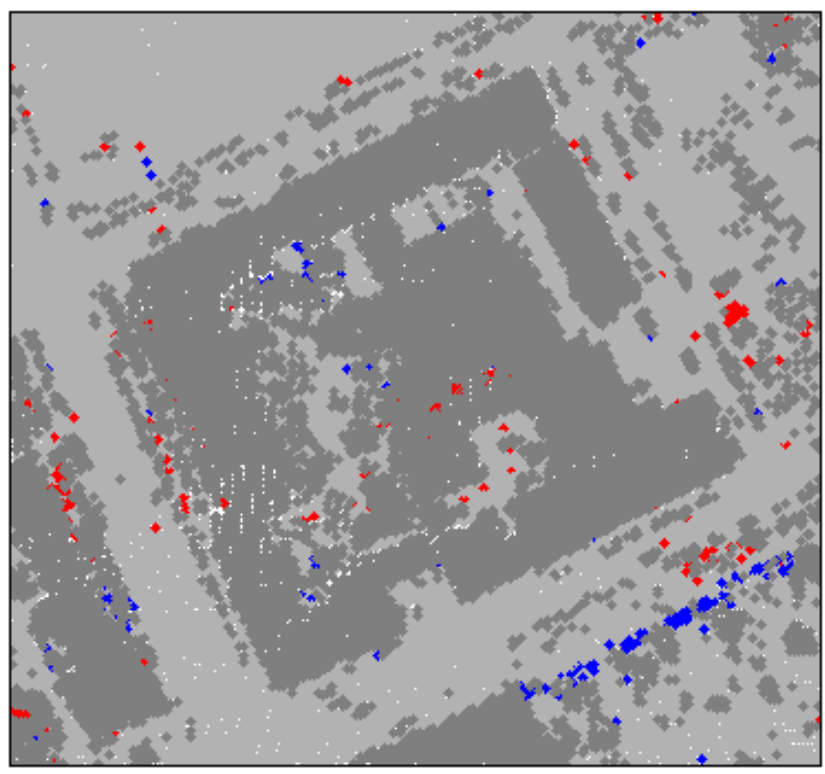


PRZYKŁAD „SAMP31”



28862	Po filtracji		<u>Samp31</u>
Ref.	Teren	Obiekt	
Teren	15411	145	15556
Obiekt	218	13088	13306
	15629	13233	
	σ_1 [%]	0,93	
	σ_2 [%]	1,64	
	σ [%]	1,26	

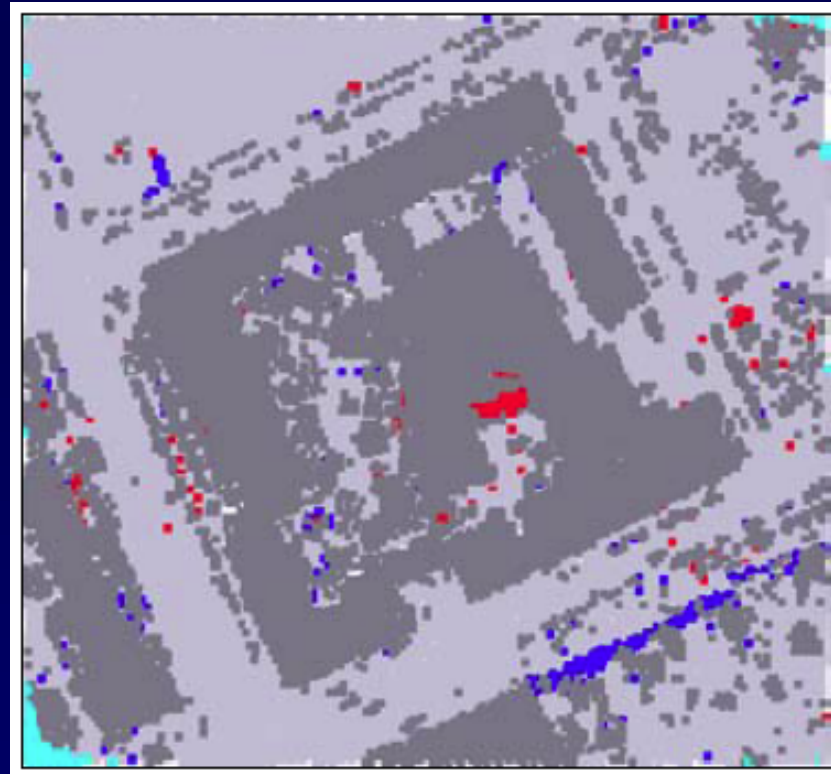
PORÓWNANIE „SAMP31”



28862	Po filtracji		<u>Samp31</u>
Ref.	Teren	Obiekt	
Teren	15411	145	15556
Obiekt	218	13088	13306
	15629	13233	
	σ_1 [%]	0,93	
	σ_2 [%]	1,64	
	σ [%]	1,26	

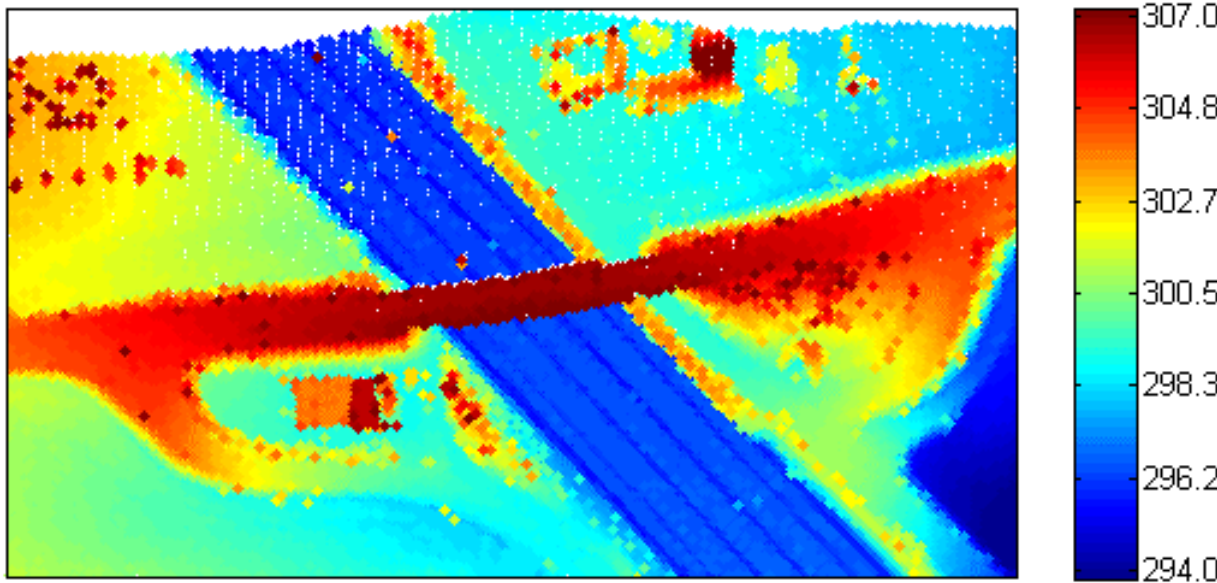
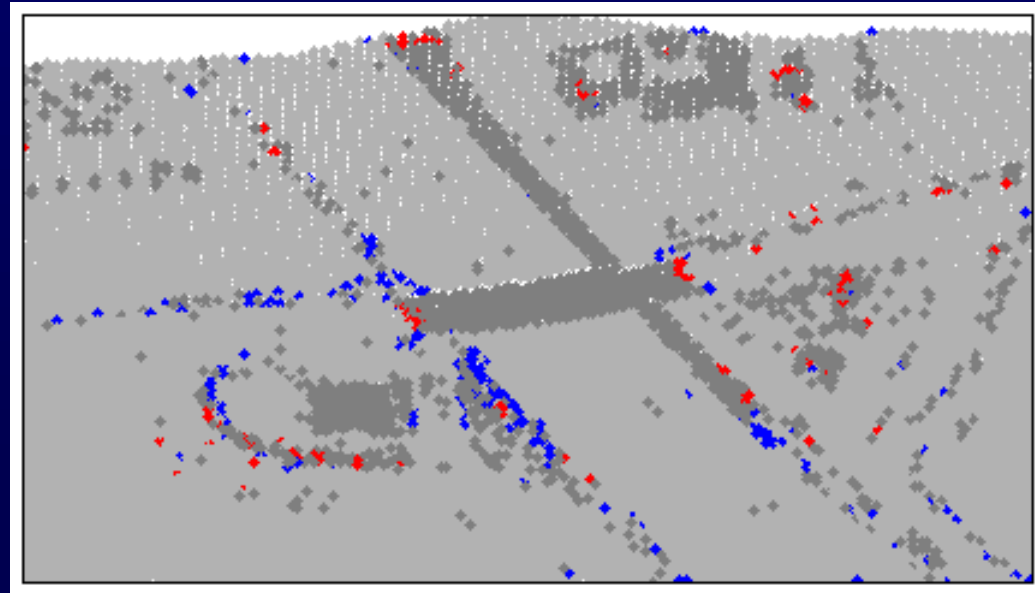
28862	Po filtracji		<u>Samp31</u>
Ref.	Teren	Obiekt	
Teren	15293	249	15542
Obiekt	265	12724	12989
	1558	12973	331
	σ_1 [%]	1,60	Nieżytych
	σ_2 [%]	2,04	
	σ [%]	1,80	

Predykcja liniowa
(podejście hierarchiczne)
[N. Pfeifer, C. Briese]

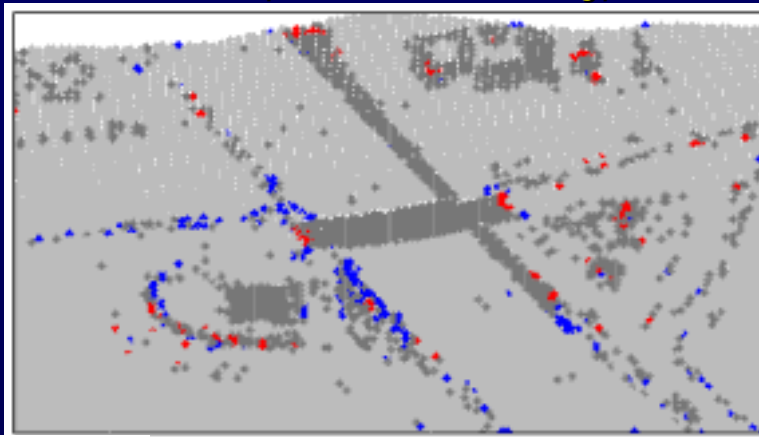


PRZYKŁAD „SAMP71”

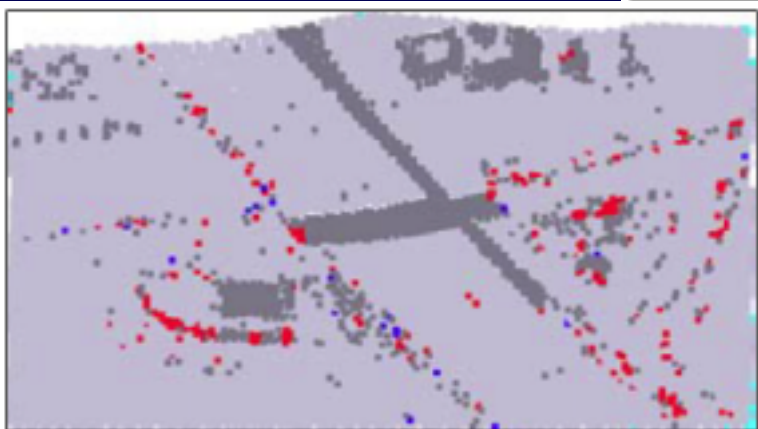
15645	Po filtracji		<u>Samp71</u>
	Terren	Obiekt	
Terren	13701	174	13875
Obiekt	99	1671	1770
	13800	1845	
	σ_1 [%]	1,25	
	σ_2 [%]	5,59	
	σ [%]	1,74	



PORÓWNANIE „SAMP71”

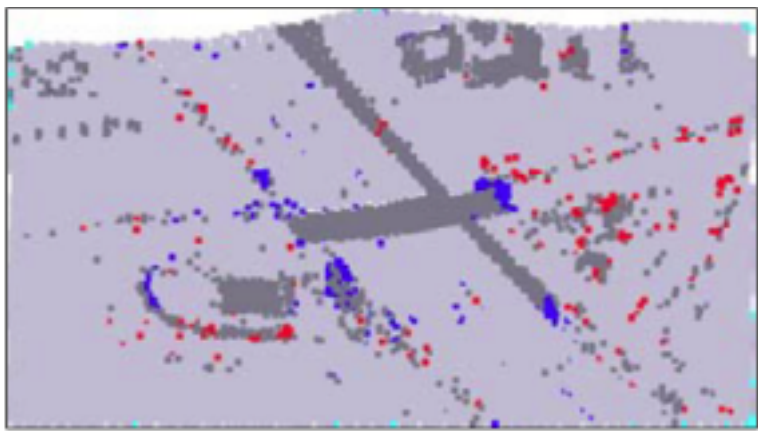


15645	Po filtracji		<u>Samp71</u>
Ref.	Teren	Obiekt	
Teren	13701	174	13875
Obiekt	99	1671	1770
	13800	1845	
	σ_1 [%]	1,25	
	σ_2 [%]	5,59	
	σ [%]	1,74	



15645	Po filtracji		<u>Samp71</u>
Ref.	Teren	Obiekt	
Teren	13841	20	13861
Obiekt	234	1532	1766
	14075	1552	18
	σ_1 [%]	0,14	Nie użytych
	σ_2 [%]	13,25	
	σ [%]	1,63	

Iteracyjne przybliżenie
powierzchni startowej TIN
[P. Axelsson]

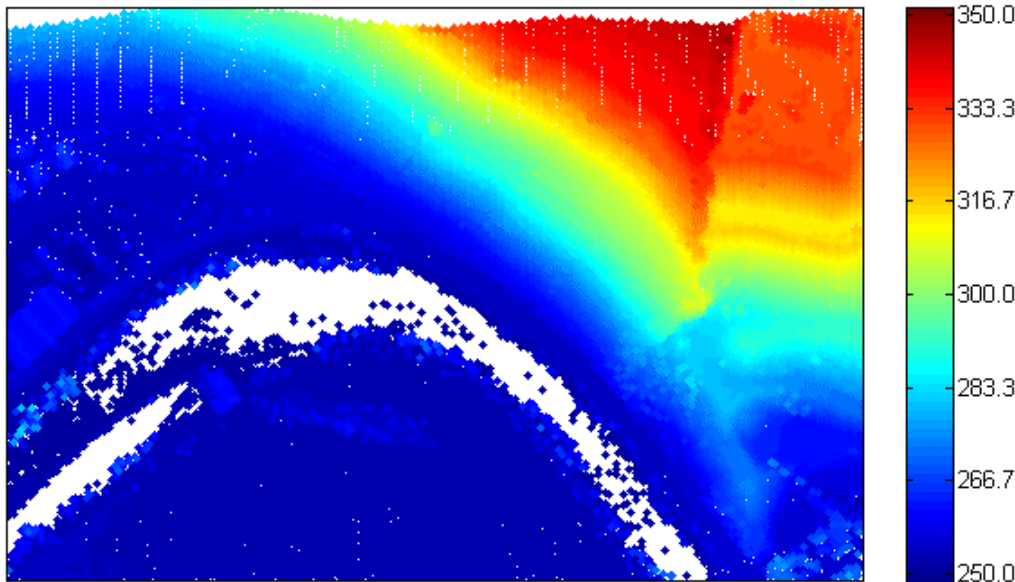
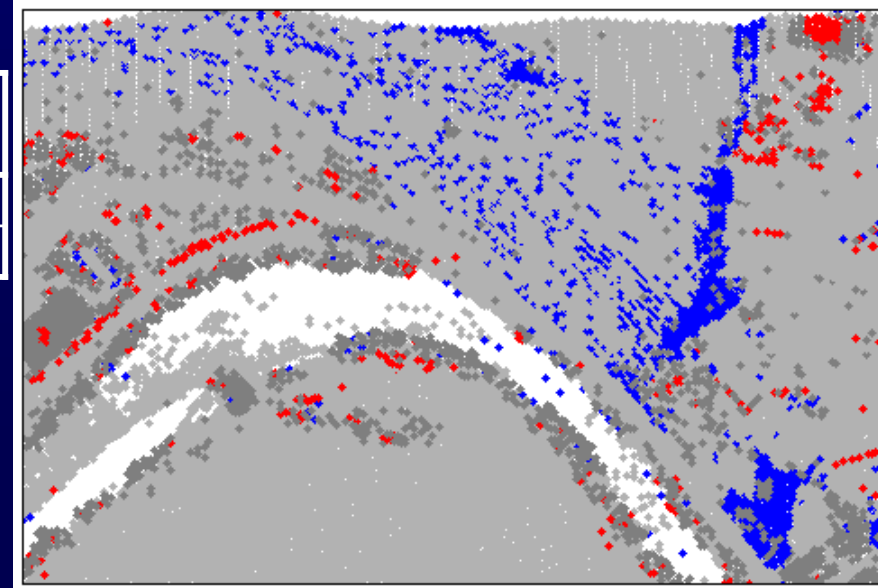


15645	Po filtracji		<u>Samp71</u>
Ref.	Teren	Obiekt	
Teren	13681	175	13856
Obiekt	168	1598	1766
	13849	1773	23
	σ_1 [%]	1,26	Nie użytych
	σ_2 [%]	9,51	
	σ [%]	2,20	

Przybliżenie regularnej
powierzchni startowej
(dwa kroki: w górę i w dół)
[G. Sohn]

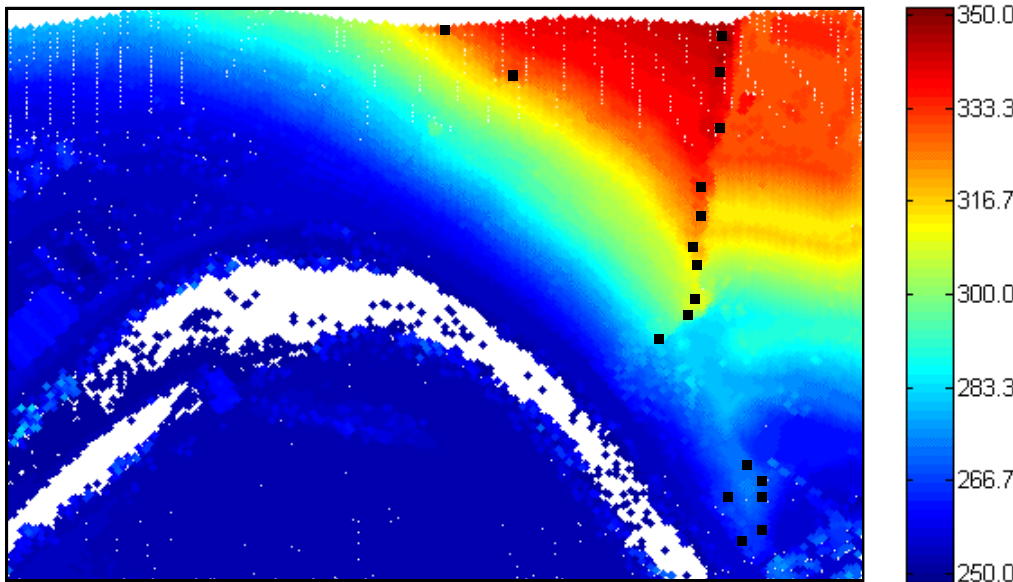
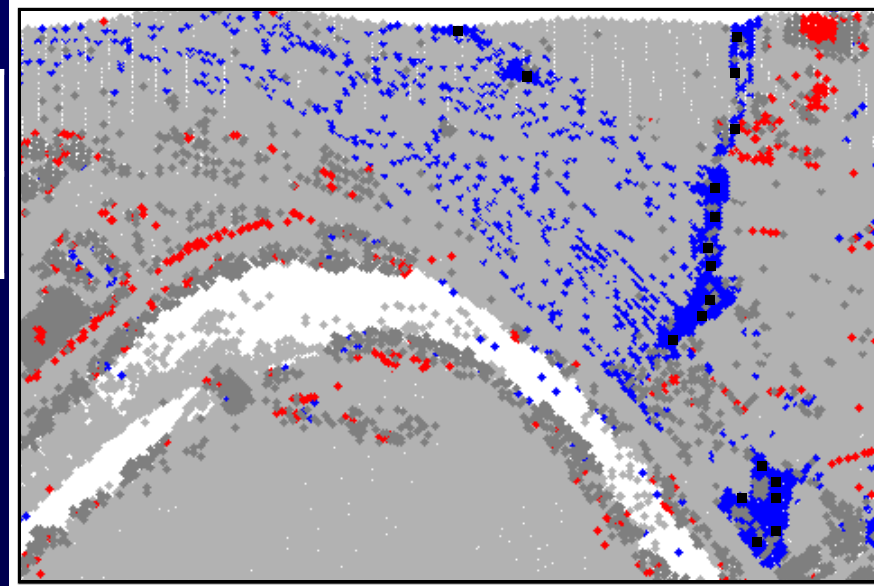
PRZYKŁAD „SAMP52”

22474	Po filtracji		<u>Samp52</u>
Ref.	Teren	Obiekt	
Teren			20112
Obiekt			2362
	19244	3230	



PRZYKŁAD „SAMP52” – PUNKTY PEWNE

22474	Po filtracji		<u>Samp52</u>
Ref.	Teren	Obiekt	
Teren			20112
Obiekt			2362
	19244	3230	

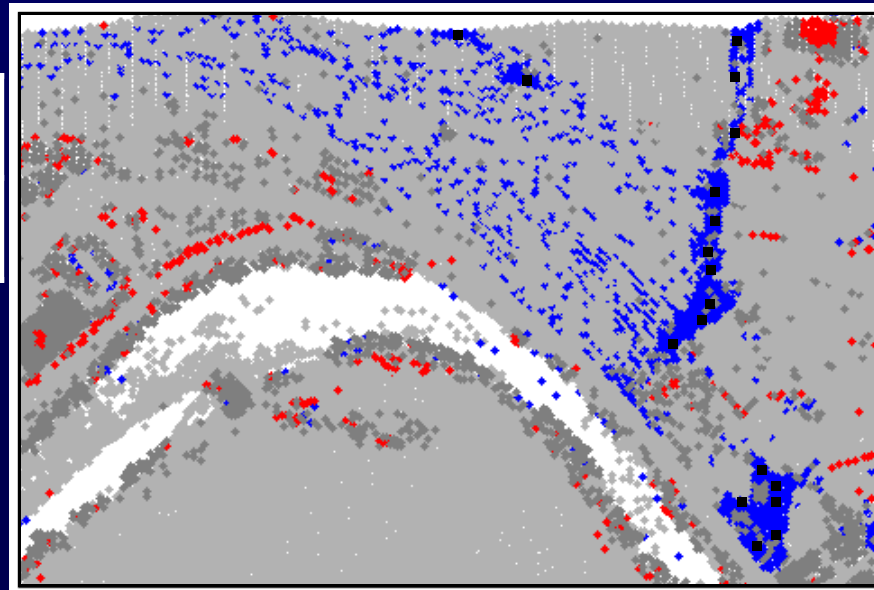


10 punktów pewnych wzdłuż
linii nieciągłości (grzbietu)

8 dodatkowych punktów
pewnych

PRZYKŁAD „SAMP52” – PUNKTY PEWNE

22474	Po filtracji		<u>Samp52</u>
Ref.	Teren	Obiekt	
Teren	18834	1278	20112
Obiekt	410	1952	2362
	19244	3230	
	σ_1 [%]	6,35	
	σ_2 [%]	17,36	
	σ [%]	7,51	



22474	Po filtracji		<u>Samp52</u>
Ref.	Teren	Obiekt	
Teren	19160	952	20112
Obiekt	415	1947	2362
	19575	2899	
	σ_1 [%]	4,73	
	σ_2 [%]	17,57	
	σ [%]	6,08	

10 punktów pewnych wzdłuż linii nieciągłości (grzbietu)

8 dodatkowych punktów pewnych

PODSUMOWANIE

- metoda ruchomych powierzchni wielomianowych daje bardzo dobre efekty filtracji danych lotniczego skaningu laserowego,
- algorytm bazuje na nieprzetworzonych punktach skaningu,
- wieloetapowe podejście hierarchiczne polepsza efekty filtracji,
- dla obszarów z liniami nieciągłości możliwe jest podniesienie dokładności filtracji dzięki uwzględnieniu informacji a-priori (punkty pewne),
- opis algorytmu jest prosty, jednak iteracyjny proces wyznaczania współczynników wielomianu w każdym punkcie wymaga użycia dużej mocy obliczeniowej.

D Z I Ę K U J Ę

Z A U W A G Ę