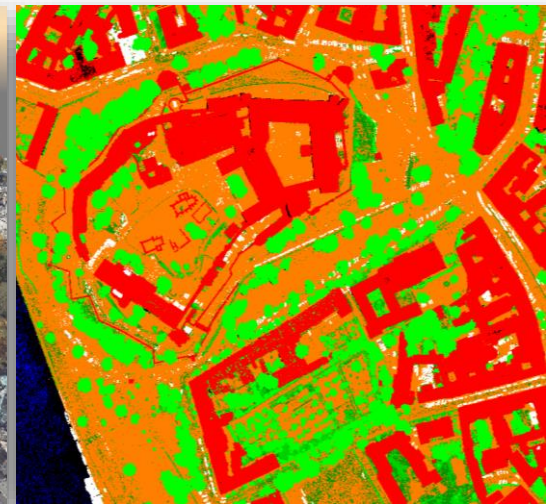
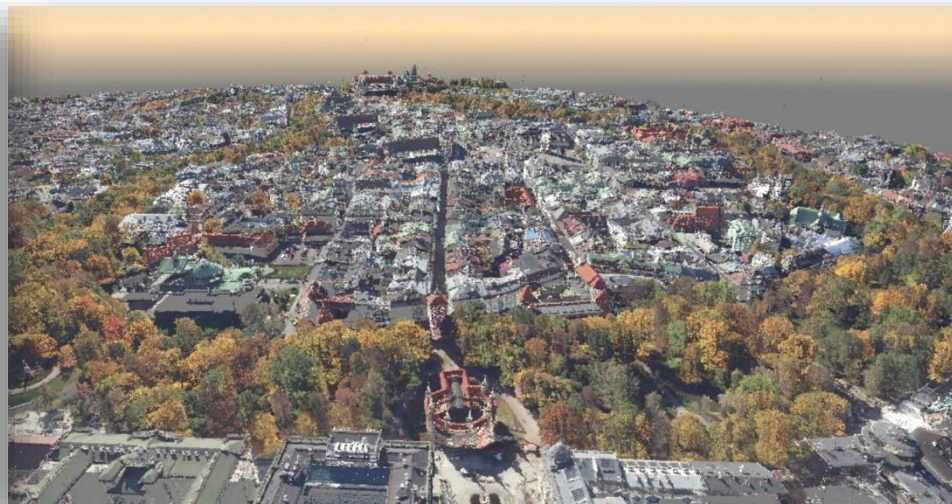
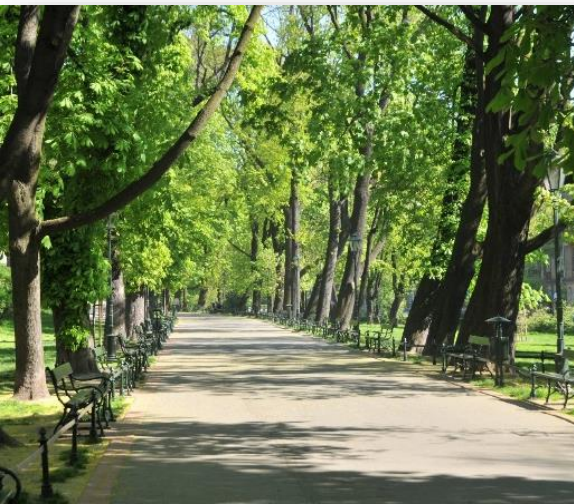


# Monitorowanie lasów miejskich Krakowa z wykorzystaniem wskaźników krajobrazowych na podstawie wieloczasowych danych teledetekcyjnych



mgr inż. arch. kraj. Karolina Zięba-Kulawik<sup>1,2</sup>, dr hab. inż. Piotr Węzyk, prof. URK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny.

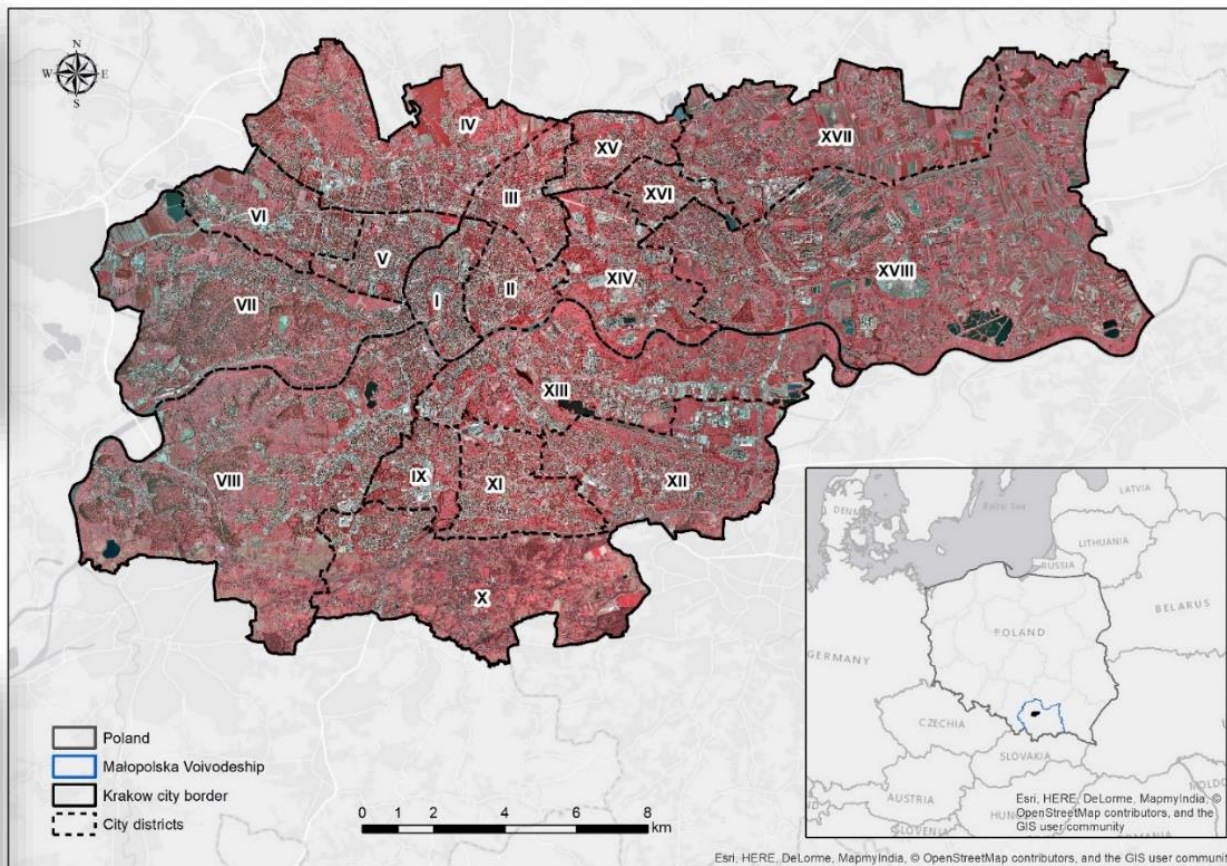
<sup>2</sup>Luxembourg Institute of Socio-Economic Research, Urban Development and Mobility Department.

# Monitorowanie przemian lasów miejskich Krakowa

## Cel i zakres badań

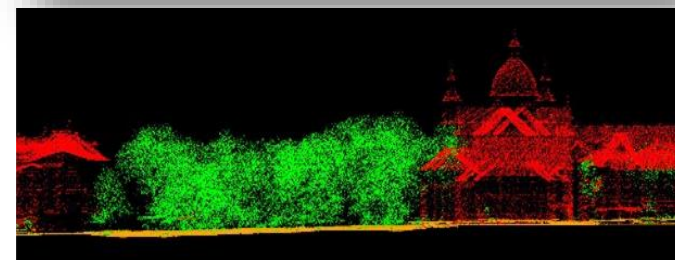


**Lasy miejskie** obejmują drzewa i krzewy na obszarach miejskich, w tym drzewa na podwórkach, wzdłuż ulic, w obszarach chronionych. Obejmują pojedyncze drzewa, drzewa uliczne, przestrzenie zielone z drzewami, cmentarze itd.



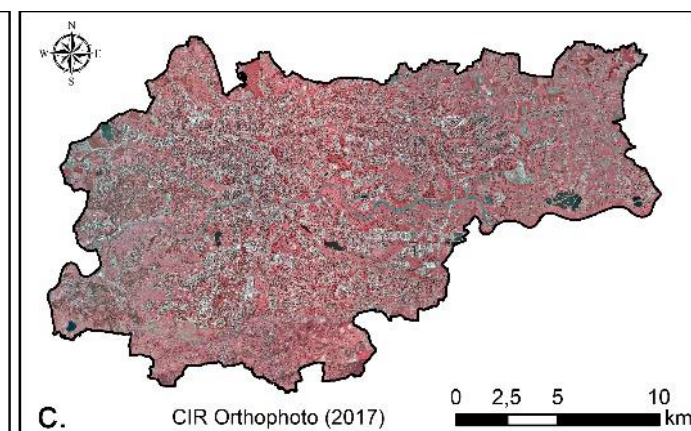
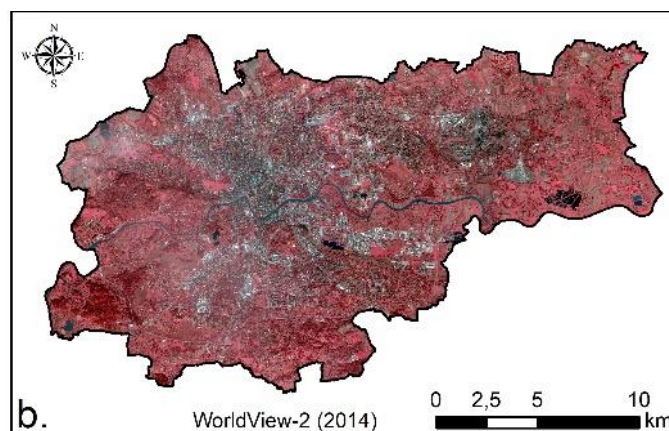
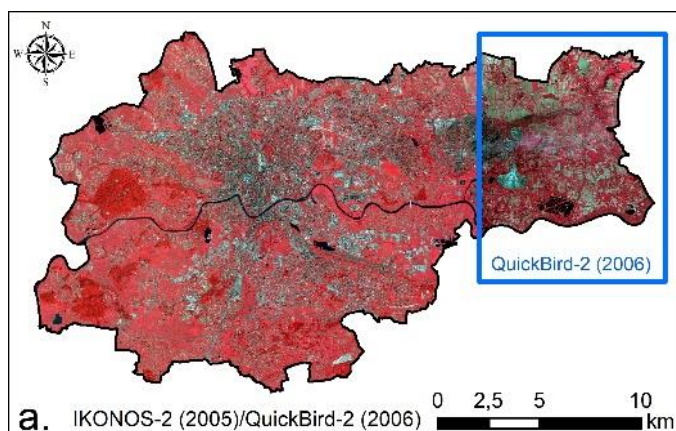
Celem prezentowanego badania był pomiar poziomej (2D) i pionowej (3D) dystrybucji przestrzennej zielonej infrastruktury oraz oszacowanie objętości lasu miejskiego w Krakowie (Polska) w określonych przedziałach czasowych: 2006, 2012 i 2017 r. w celu wykrycia zmian w zieleni miejskiej i analizy wpływu na środowisko przy użyciu metryk krajobrazowych oraz wskaźników 3D.

Typ danych	Data pozyskania danych	Rozdzielczość/ GSD
Chmura punktów ALS LiDAR <sup>1</sup>	Listopad 2006	~ 12 pkt/m <sup>2</sup>
Chmura punktów ALS LiDAR <sup>2</sup>	Lipiec 2012	~ 12 pkt/m <sup>2</sup>
Chmura punktów ALS LiDAR <sup>2</sup>	Listopad 2017	~ 12 pkt/m <sup>2</sup>
IKONOS-2 (SpaceImaging) <sup>3</sup>	Czerwiec 2005	0.8m PAN/3.2m MS
QuickBird-2 (DigitalGlobe) <sup>3</sup>	Wrzesień 2006	0.6m PAN/2.4m MS
WorldView-2 (DigitalGlobe) <sup>3</sup>	Październik 2014	0.5m PAN/2.0m MS
Lotnicza ortofotomapa (CIR) <sup>2</sup>	Maj 2017	0.25m



Chmury punktów ALS LiDAR

Dane uzyskano z: <sup>1</sup>Miasto Kraków (Biuro Planowania Przestrzennego); <sup>2</sup>Główny Urząd Geodezji i Kartografii - Warszawa; <sup>3</sup>ProGea Consulting – Kraków.



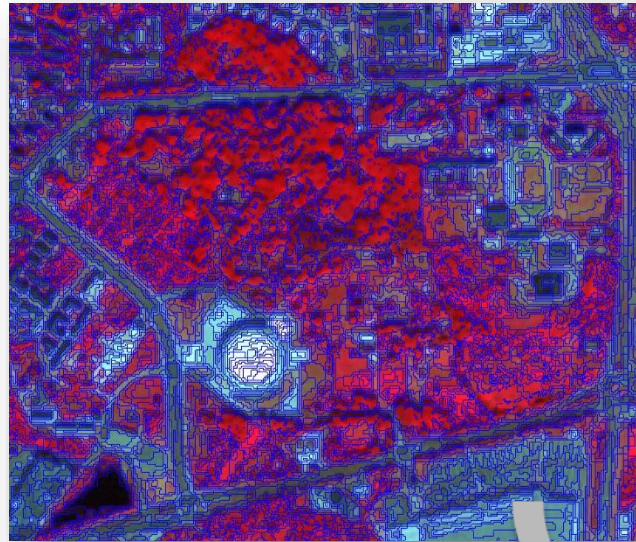
Kraków na zdjęciach w fałszywych kolorach z wykorzystaniem pasm bliskiej podczerwieni (NIR), czerwonego i zielonego widma – (a) IKONOS-2 (2005) i QuickBird-2 (2006); (b) WorldView-2 (2014) i (c) ortofotomapa lotnicza CIR (2017).

# Metodyka - Klasyfikacja obiektowa roślinności Krakowa

## Geographic-Object-Based Image Analysis (GEOBIA)

### Process Tree

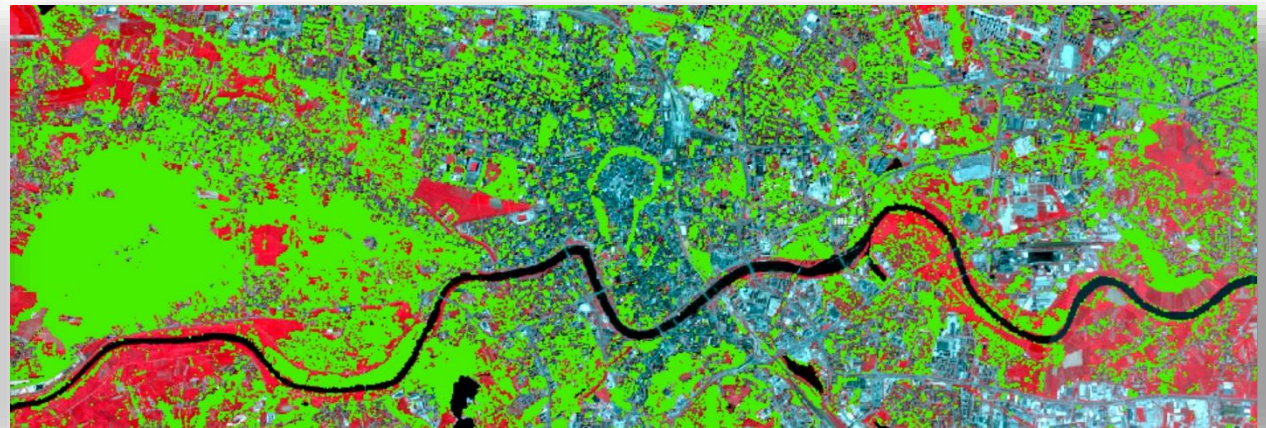
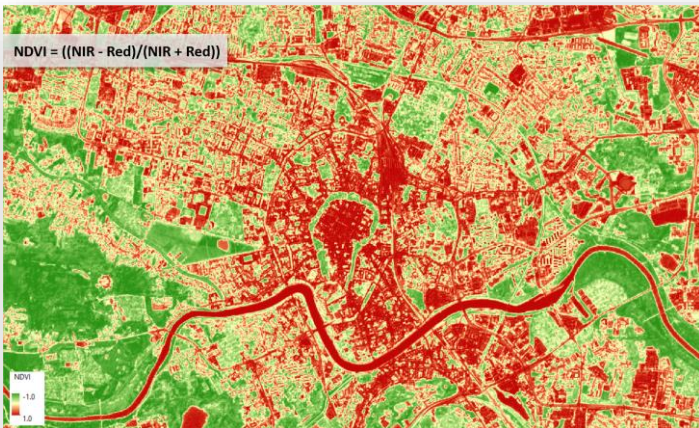
- Segmentacja
  - ≡ 150 [shape:0.2 compct.:0.5] creating 'Level\_1'
  - ≡ at Level\_1: spectral difference 150
- Klasyfikacja wody
  - ✚ with Mean nir <= 2200 at Level\_1
  - Woda at Level\_1: merge region
- Klasyfikacja roślinności
  - layer arithmetics (val "(nir-red)\(nir+red)", layer ndvi(float))
  - ✚ unclassified with Mean ndvi >= 0.35 at Level\_1: Roślinnosc
  - ✚ Roślinnosc with Mean green <= 4200 at Level\_1: Las\_lisciasty
  - Las\_lisciasty at Level\_1: \_TEMP <= 5 < Las\_lisciasty on nDSM
  - Las\_lisciasty at Level\_1: merge region
- Poprawa kształtu
  - ✚ Las\_lisciasty at Level\_1: grow into \_TEMP where rel. area of Las
  - ✚ Woda at Level\_1: unclassified
  - ✚ Roślinnosc at Level\_1: unclassified
  - ✚ \_TEMP at Level\_1: unclassified
  - Las\_lisciasty at Level\_1: merge region
  - Las\_lisciasty at Level\_1: export object shapes to ObjectShapes



Segmentacja

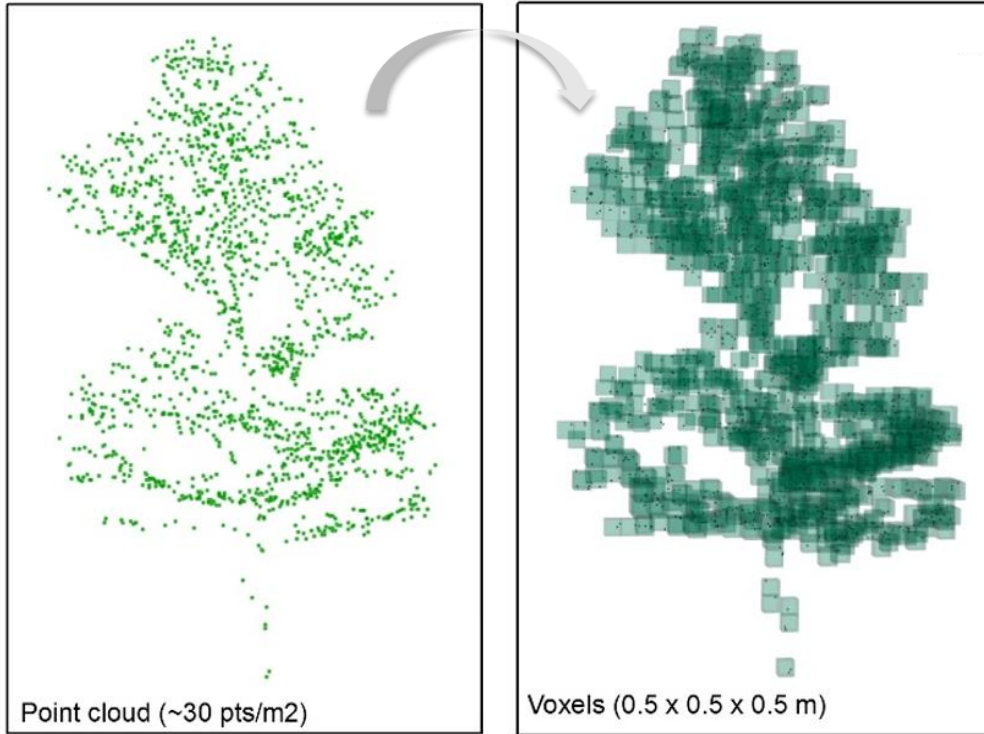


Klasyfikacja



# Metodyka - Objętość roślinności Krakowa

## Chmury punktów ALS oraz vowele

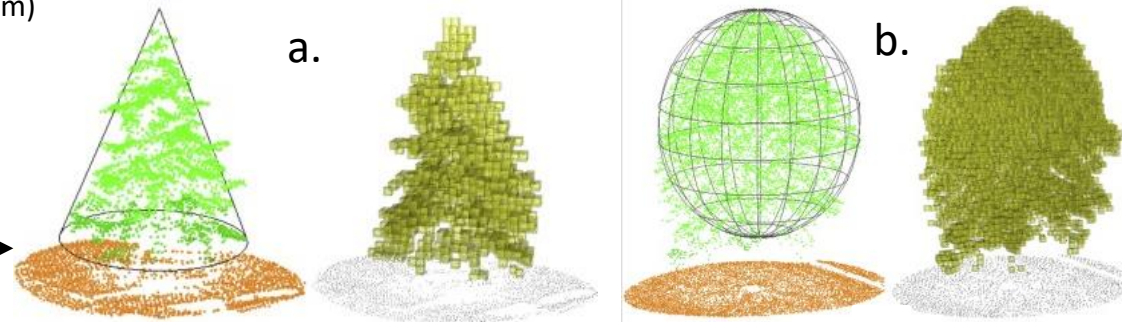


Chmura punktów ALS LiDAR

Woksele (0,5 x 0,5 x 0,5 m)

### Proces wokselizacji chmury punktów ALS LiDAR

Dopasowanie kształtu korony drzewa do stożka (a) i elipsoidy (b) vs. vowele (0,5 m) wygenerowane na chmurze punktów korony drzew iglastych i liściastych



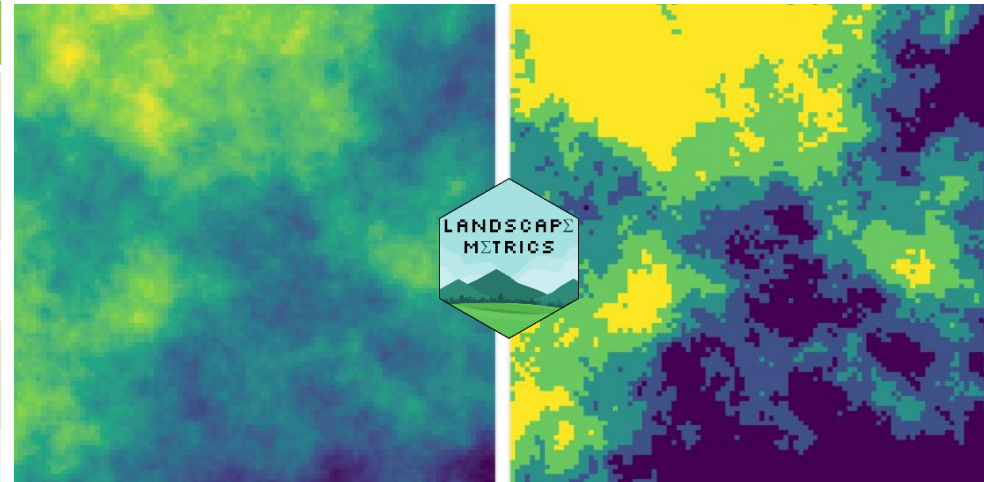
Wskaźnik Gęstości Roślinności 3D  
**Vegetation 3D Density Index (V3DI)**

$$V3DI = \frac{V_V}{S} = \frac{\sum_{i=1}^m V_{vox}}{S}$$

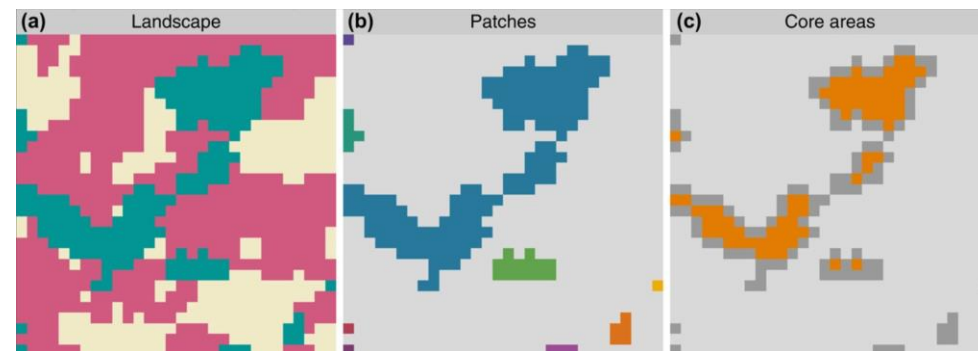
gdzie:

$V_V$  - oznacza całkowitą objętość roślinności [ $m^3$ ],  
 $V_{vox}$  - objętość pojedynczego woksele w AOI,  
 $m$  - liczbę wokseli (roślinność średnia i wysoka),  
 $S$  - obszar badania [ $m^2$ ].

Nazwa wskaźnika krajobrazowego	Skrót	Wzór	Zakres	Jednostki
Number of Patches	NP	$NP = n_i$	$\geq 1$	pcs
Mean of patch area	AREA_MN	$\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}}$	$> 0$	ha
Mean patch contiguity index	CONTIG_MN	$\left[ \frac{\sum_{r=1}^x n_i C_{ijr}}{a_{ij}} \right]$	$0 \geq$ CONTIG_M $N \leq 1$	-
Largest Patch Index	LPI	$\frac{\max_{j=1}^n (a_{ij})}{A} (1 \dots)$	$0 < LPI \leq$ 100	%
Mean perimeter-area ratio	PARA_MN	$\frac{p_{ij}}{a_{ij}}$	$> 0$	-
Splitting Index	SPLIT	$\left[ \frac{A^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2} \right]$	$1 \leq SPLIT \leq$ Number of cells squared	-
Effective mesh size	MESH	$\frac{\sum_{j=1}^a a_{ij}^2}{A} \left( \frac{1}{10000} \right)$	cell size / total area $\leq$ MESH $\leq$ total area	ha
Patch Density	PD	$\frac{n_i}{A} * 10^6$	$0 < PD \leq$ $1e+06$	Number r per 100 ha
Landscape division index = Connectivity Index	DIVISION	$\left[ 1 - \sum_{j=1}^a \left( \frac{a_{ij}}{A} \right)^2 \right]$	$0 \leq$ DIVISION $<$ 1	-
Landscape Shape Index	LSI	$\frac{e_i}{\min e_i}$	$\geq 1$	-

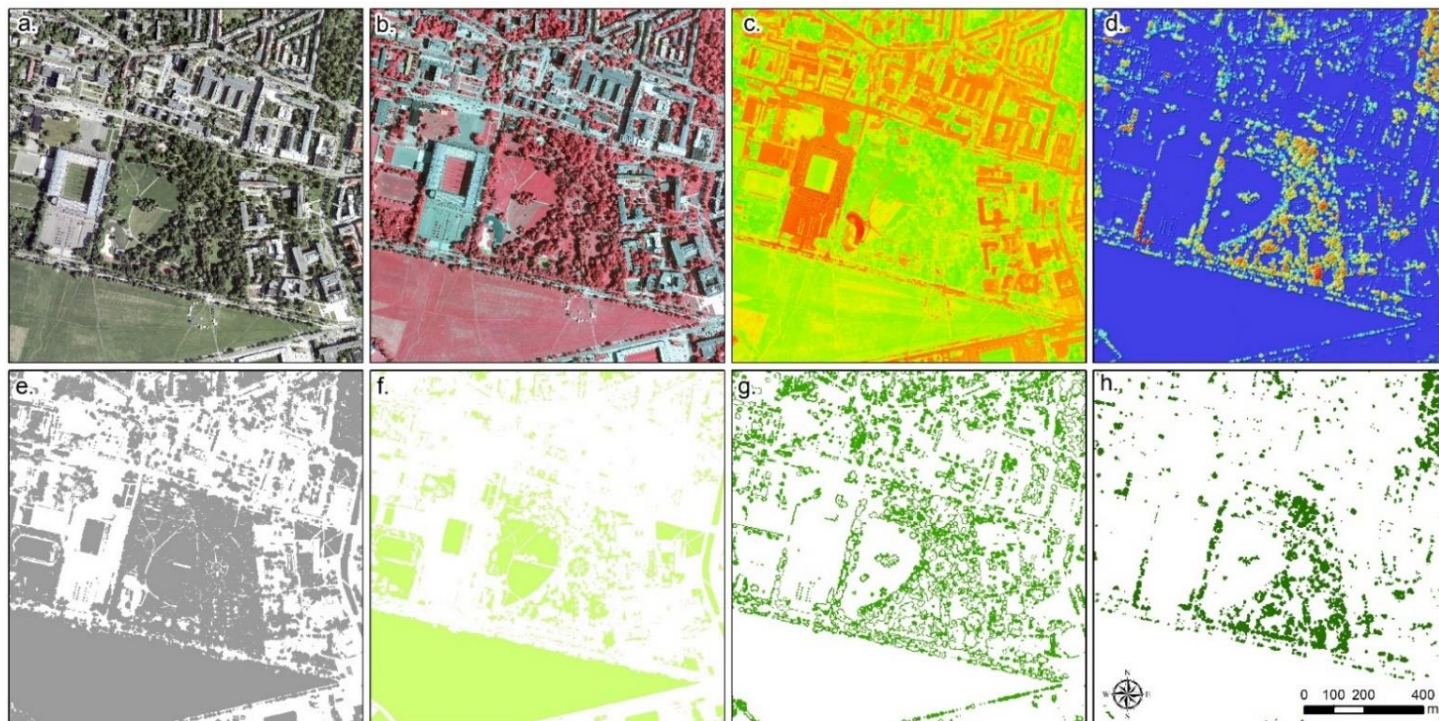
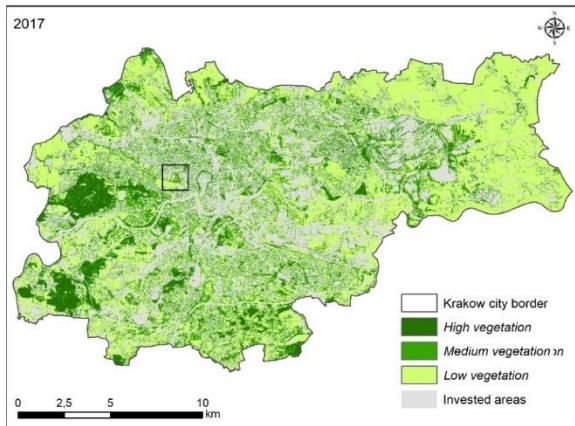
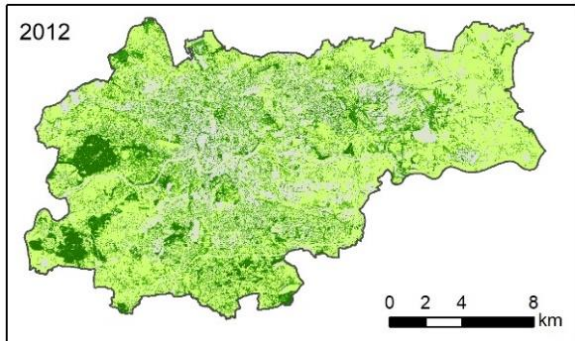
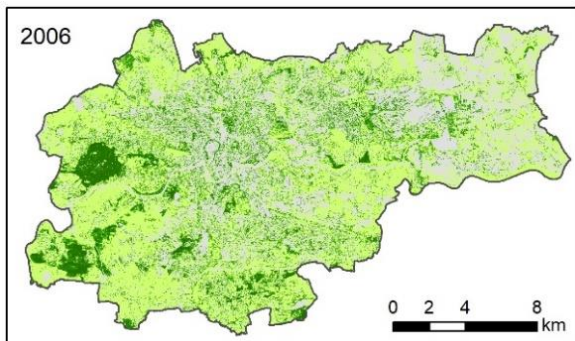


To ten sam krajobraz, ale z reprezentacją ciągłą (a) i kategoryjalną (b). Krajobrazu ciągłego można się spodziewać np. na zobrazowaniach satelitarnych. Krajobrazy kategoryczne są najczęściej klasyfikowane w sposób postrzegany przez ludzi, np. w klasach pokrycia i użytkowania terenu.



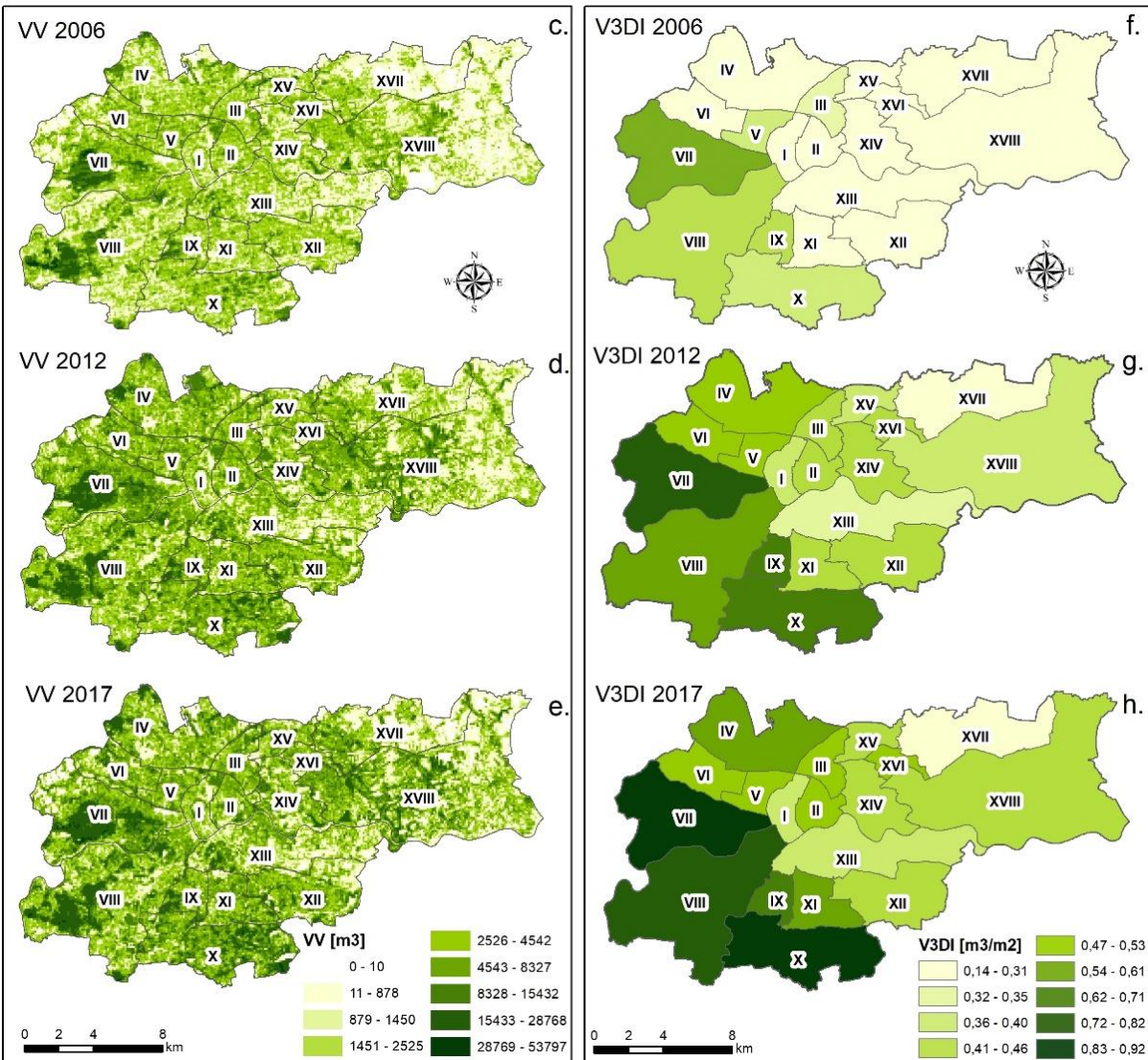
Wizualizacja przykładowego krajobrazu (a) z wykorzystaniem funkcji show\_patches() (b) i show\_cores() (c) dla wybranej klasy.

# Wyniki klasyfikacji roślinności Krakowa w latach 2006, 2012 i 2017



Warstwa roślinności	Area	2006	2012	2017
2D powierzchnia biologicznie czynna	[ha] [%]	24 872.4 <b>76.1</b>	24 110.4 <b>73.8</b>	23 655.0 <b>72.4</b>
Roślinność niska (LV)	[ha] [%]	18 511.6 <b>56.6</b>	15 944.6 <b>48.8</b>	14 811.5 <b>45.3</b>
Roślinność średnia (MV)	[ha] [%]	4 597.7 <b>14.1</b>	6 033.8 <b>18.5</b>	6 454.8 <b>19.8</b>
Roślinność wysoka (HV)	[ha] [%]	1 763.1 <b>5.4</b>	2 132.0 <b>6.5</b>	2 388.6 <b>7.3</b>

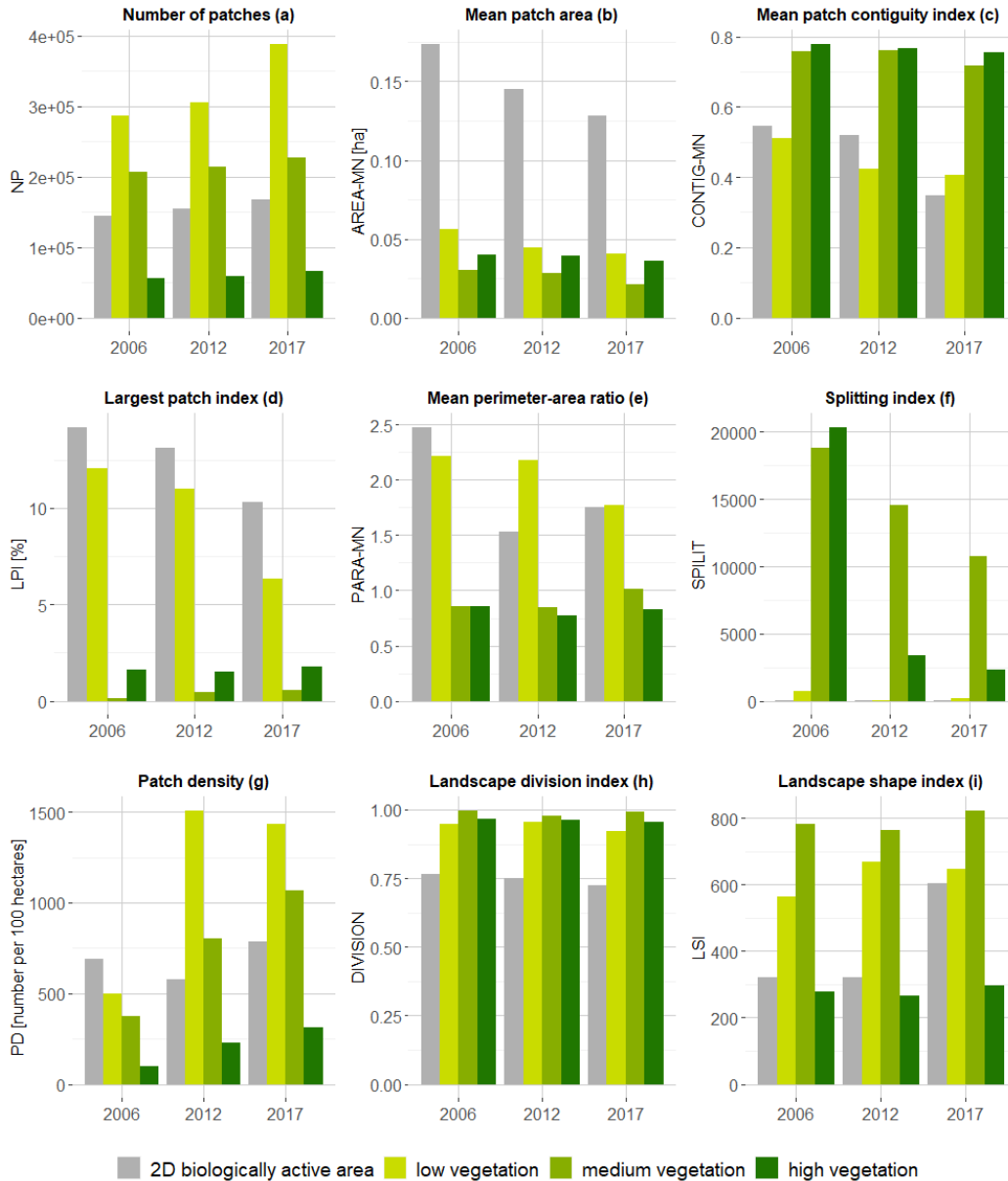
# Wyniki - Objętość roślinności (VV) i wskaźnik gęstości roślinności 3D (V3DI)



Nazwa Dzielnicy Krakowa	2006 V3DI [m³/m²]	2012 V3DI [m³/m²]	2017 V3DI [m³/m²]
Stare Miasto (I)	0.28	0.36	0.37
Grzegórzki (II)	0.30	0.44	0.47
Prądnik Czerwony (III)	0.34	0.46	0.53
Prądnik Biały (IV)	0.30	0.52	0.54
Krowdrza (V)	0.36	0.50	0.52
Bronowice (VI)	0.31	0.47	0.53
Zwierzyniec (VII)	0.54	0.78	0.92
Dębniki (VIII)	0.44	0.59	0.71
Łagiewniki (IX)	0.43	0.64	0.71
Swoszowice (X)	0.35	0.64	0.84
Podgórze Duchackie (XI)	0.25	0.44	0.55
Bieżanów-Prokocim (XII)	0.27	0.43	0.46
Podgórze (XIII)	0.23	0.33	0.36
Czyżyny (XIV)	0.25	0.42	0.44
Mistrzejowice (XV)	0.29	0.39	0.45
Bieńczyce (XVI)	0.29	0.44	0.50
Wzgórzka Krzesławickie (XVII)	0.14	0.30	0.31
Nowa Huta (XVIII)	0.20	0.37	0.44
<b>Total</b>	<b>0.31</b>	<b>0.48</b>	<b>0.56</b>

Mapy przedstawiające Objętość roślinności w latach 2006 (c), 2012 (d), 2017 (e) oraz Vegetation 3D Density Index (V3DI) w dzielnicach miasta Krakowa (I-XVIII) w latach 2006 (f), 2012 (g), 2017 (h).





Porównując wybrane wskaźniki krajobrazowe obliczone dla warstwy BAA (2D) i warstw typu 3D (ang. LV, MV oraz HV), miary fragmentacji (lub łączności) krajobrazu różniły się przy zastosowaniu dwóch podejść, wskazując na ogólne prawidłowości.

Kluczowe wzorce krajobrazu były następujące:

- wskaźniki dla warstw 2D wskazywały na mniej rozdrobniony krajobraz niż warstwy pochodne 3D;
- szersza strefa połączona rdzeniowo została wskazana na danych typu 2D w porównaniu z warstwami pochodnymi 3D;
- w podejściu 2D powierzchnie były bardziej połączone niż w warstwach 3D, na co wskazuje wskaźnik podziału krajobrazu (ang. DIVISION), który przyjmuje niższe wartości dla BAA (2D) niż dla którejkolwiek z warstw typu 3D.

Roślinność niska we wszystkich momentach czasu (2006, 2012, 2017) wykazywała najmniejszy stopień fragmentacji, następnie roślinność wysoka, a roślinność średnia była najsilniej pofragmentowana. Obszary pokryte krzewami były bardziej rozproszone w przestrzeni miasta Krakowa niż trawa czy drzewa, które tworzyły bardziej zwarte płyty.

# Dziękuję za uwagę



Zięba-Kulawik, K., & Wężyk, P. (2022). Monitoring 3D Changes in Urban Forests Using Landscape Metrics Analyses Based on Multi-Temporal Remote Sensing Data. *Land*, 11(6), 1-19. [883]. <https://doi.org/10.3390/land11060883>