



**Wydział Geodezji
i Kartografii**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

W drodze do IHRF – wstęp do unifikacji układu PL-EVRF2007-NH z globalnym poziomem odniesienia

Dorota Marjańska, Janusz Walo
Zakład Geodezji i Astronomii Geodezyjnej
Wydział Geodezji i Kartografii PW



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

O IHRS

IHRS (International Height System Reference) to globalny system odniesienia wysokości, realizowany poprzez międzynarodowy układ wysokościowy.

Ma być integralną częścią GGOS i charakteryzować się długoterminową stabilnością.

Lokalne układy wysokościowe:

- Ponad 100 na całym świecie
- Rozbieżności na poziomie dm – m
- Założenie statyczności wysokości $\ddot{H} \equiv 0$
- Dokładność 1-2 rzędy gorsza niż dla ITRF

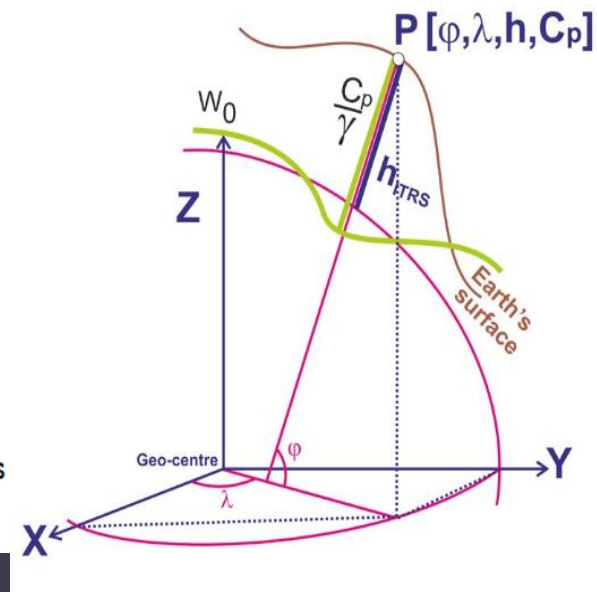


Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

O IHRS

- Integracja układu geometrycznego i fizycznego pozwala na poprawienie dokładności w kierunku zastosowań dla GGOS
- Rezolucja dot. IHRS zdefiniowała podstawowe warunki systemu

- the following conventions for the definition of an International Height Reference System (see note 1):
 1. the vertical reference level is an equipotential surface of the Earth gravity field with the geopotential value W_0 (at the geoid);
 2. parameters, observations, and data shall be related to the mean tidal system/mean crust;
 3. the unit of length is the meter and the unit of time is the second (SI);
 4. the vertical coordinates are the differences $-\Delta W_P$ between the potential W_P of the Earth gravity field at the considered points P, and the geoidal potential value W_0 ; the potential difference $-\Delta W_P$ is also designated as geopotential number C_P : $-\Delta W_P = C_P = W_0 - W_P$;
 5. the spatial reference of the position P for the potential $W_P = W(\mathbf{X})$ is related as coordinates $\mathbf{X}$ of the International Terrestrial Reference System;



oraz konwencjonalną wartość potencjału grawitacyjnego W_0 powierzchni odniesienia

$$W_0 = 62636853.4 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

O IHRS

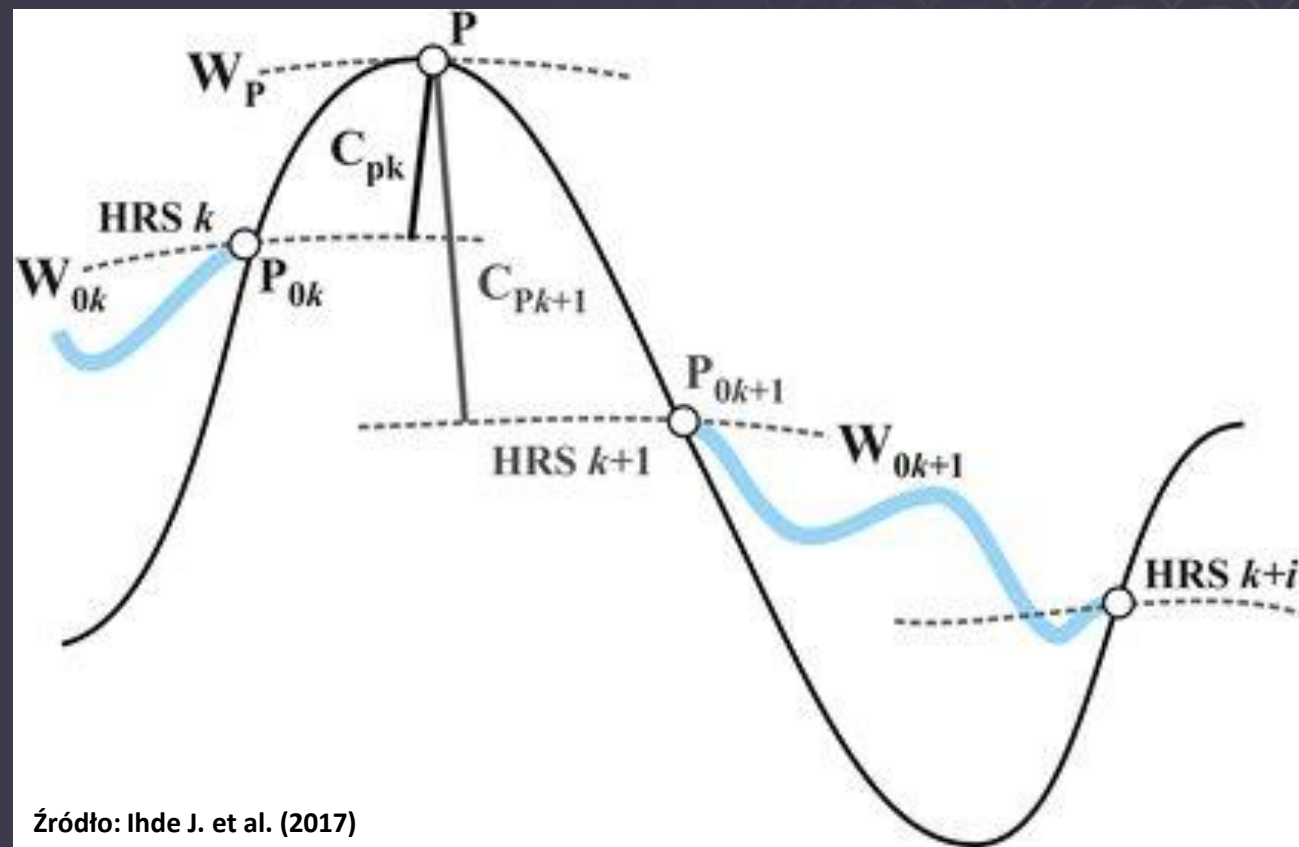
$$W_{0,IHRS} = 62636853.4 \frac{m^2}{s^2}$$

Dla porównania:

$$W_{0,IERS} = 62636856.000 \frac{m^2}{s^2}$$

$$W_{0,GRS80} = U_{0,GRS80} = 62636860.850 \frac{m^2}{s^2}$$

Co daje nawet ≈ 75 cm różnicy
w poziomach geoidy!



Źródło ilustracji: Ihde J. et al. (2017). *Definition and Proposed Realization of the International Height Reference System (IHRS)*, Survey in Geophysics, 38, pp. 549–570, DOI: 10.1007/s10712-017-9409-3

100
lecie

Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Układ globalny a układ lokalny

W kontekście globalnego układu wysokościowego problemem do rozwiązania staje się pozyskanie wartości cech geopotencjalnych, czyli:

$$C(P) = -\Delta W(P) = W_0 - W(P)$$

Możliwe rozwiązania:

- (1) Wykorzystanie globalnych modeli geopotencjału wysokiej rozdzielczości (GGM-HR)
- (2) Wykorzystanie regionalnych modeli pola grawitacyjnego (modele geoidy/quasi-geoidy)
- (3) Unifikacja (transformacja) istniejących fizycznych systemów wysokości do IHRS**



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Dane wykorzystane w badaniach

- Wysokości elipsoidalne h^{ETRF2000} w systemie bezpływowym
- Wysokości normalne H^{EVRF2007} w systemie zerowego pływu z wyrównania IV kampanii niwelacyjnej dla ekscentrów ASG (107), punktów EUVN (42) i POLREF (309)
- Wysokości elipsoidalne i normalne wybranych 19 reperów sieci UELN (*United European Levelling Network*) z 2021 r.
- Odstępy quasi-geoidy z modeli globalnych w systemie bezpływowym
- Odstępy quasi-geoidy z modelu EGG2008 w systemie zerowego pływu
- Odstępy quasi-geoidy z modelu PL-geoid2021
- Przyspieszenie siły ciężkości g^{IGRF} interpolowane na podstawie $g^{\text{IGSN'71}}$
- Redukcje Faye'a i Bouguera pozyskane z SRTM2gravity



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Obliczenia

Sprowadzenie do jednolitego systemu zerowego płýwu:

- wysokości elipsoidalnych dla układu EVRF
- odstępów (quasi)geoidy

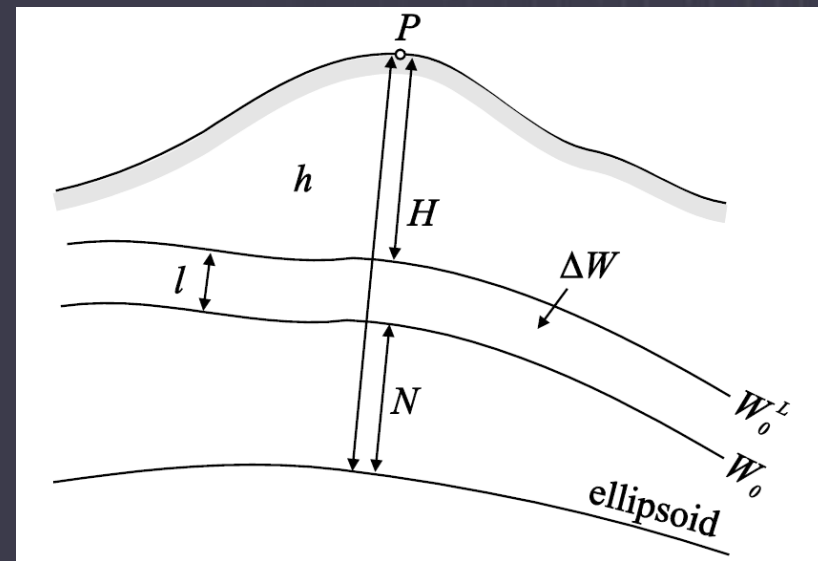
Określenie ΔW :

- Wyznaczenie metrycznego odstępu powierzchni na dwa sposoby:

$$\begin{aligned}l &= h - HN - \zeta \\l &= h - HO^* - N^*\end{aligned}$$

- Wyznaczenie ΔW między IHRF a EVRF na obszarze Polski za pomocą MNK

$$\begin{aligned}\Delta W &\approx l \cdot g \approx l \cdot \gamma \\ \frac{1}{\gamma_i} \Delta W &= l_i + v_i\end{aligned}$$



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Wyniki: dW_0

Po uwzględnieniu wyrazu zerowego stopnia

$$\zeta_0 = \frac{GM - GM_0}{R\gamma} - \frac{W_0 - U_0}{\gamma}$$

	wartości dW_0 względem PL-EVRF2007-NH [m ² /s ²]					
wariant	EGM2008	XGM2019	SGG-UGM-2	GECO	EGG2008	PL- GEOID2021
ASG+POLREF+EUVN	-4.3881	-4.4584	-4.4904	-4.4499	-4.4633	-4.4605
ASG	-4.3308	-4.4000	-4.4252	-4.4011	-4.4066	-4.4031
EUVN	-4.3850	-4.5218	-4.4891	-4.4667	-4.4320	-4.4680
POLREF	-4.4084	-4.4701	-4.5132	-4.4645	-4.4872	-4.4794
UELN (HN)	-4.4137	-4.5349	-4.4799	-4.5006	-4.4742	-4.4251
UELN (HO)	-4.4135	-4.5347	-4.4797	-4.5004	-4.4740	-4.4249

Te same wartości



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

$$W_{0,IHRS} = 62636853.4 \frac{m^2}{s^2} \text{ (Sanchez, 2018)}$$

$$W_{0,EVRS} = 62636857.89 \frac{m^2}{s^2} \text{ (Denker, 2013)}$$

$$W_{0,PL-geoid2021} = 62636857.28 \frac{m^2}{s^2} \text{ (GUGiK, 2022)}$$

$$W_{0,IHRS} - W_{0,EVRS} = -4.49 \frac{m^2}{s^2}$$

- Potwierdzenie zgodności PL-EVRF2007-NH z rozwiązaniem dla całej Europy



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Porównanie uzyskanych wartości dW_0

względem nominalnej wartości W_0 IHRF - W_0 EVRF2007 = $-4.49 \text{ m}^2/\text{s}^2$

	Obliczone wartości dW_0 IHRF-EVRF względem nominalnej [m^2/s^2]					
wariant	EGM2008	XGM2019	SGG-UGM-2	GECO	EGG2008	PL- GEOID2021
ASG+POLREF+EUVN	0.1019	0.0316	-0.0004	0.0401	0.0267	0.0295
ASG	0.1592	0.0900	0.0648	0.0889	0.0834	0.0869
EUVN	0.1050	-0.0318	0.0009	0.0233	0.0580	0.0220
POLREF	0.0816	0.0199	-0.0232	0.0255	0.0028	0.0106
UELN (HN)	0.0763	-0.0449	0.0101	-0.0106	0.0158	0.0649
UELN (HO)	0.0765	-0.0447	0.0103	-0.0104	0.0160	0.0651



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Wyniki: m_0

	wartości m_0 [m]					
wariant	EGM2008	XGM2019	SGG-UGM-2	GECO	EGG2008	PL- GEOID2021
ASG+POLREF+EUVN	0.028	0.031	0.029	0.028	0.024	0.017
ASG	0.024	0.024	0.024	0.021	0.019	0.010
POLREF	0.027	0.031	0.030	0.028	0.024	0.017
EUVN	0.043	0.038	0.036	0.036	0.033	0.030
UELN (HN)	0.031	0.033	0.026	0.027	0.033	0.020
UELN (HO)	0.031	0.033	0.026	0.027	0.033	0.020

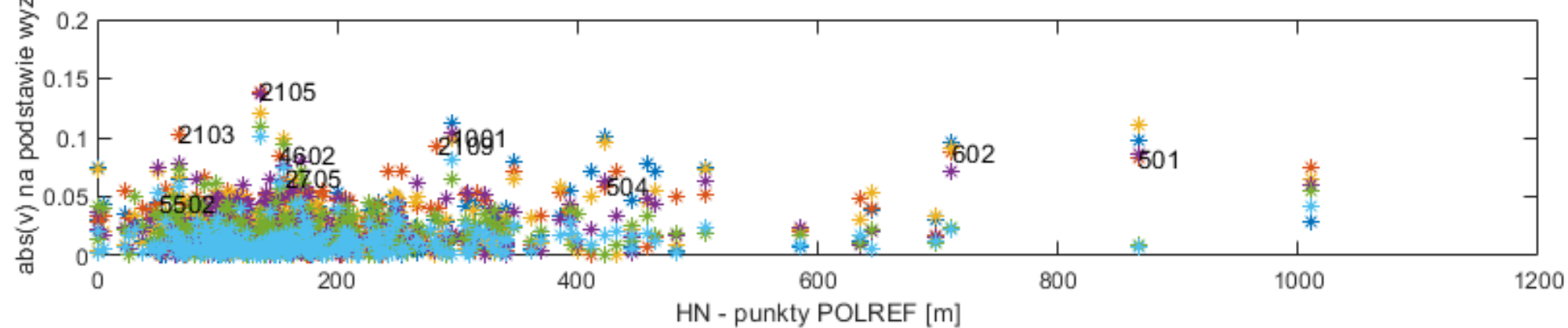
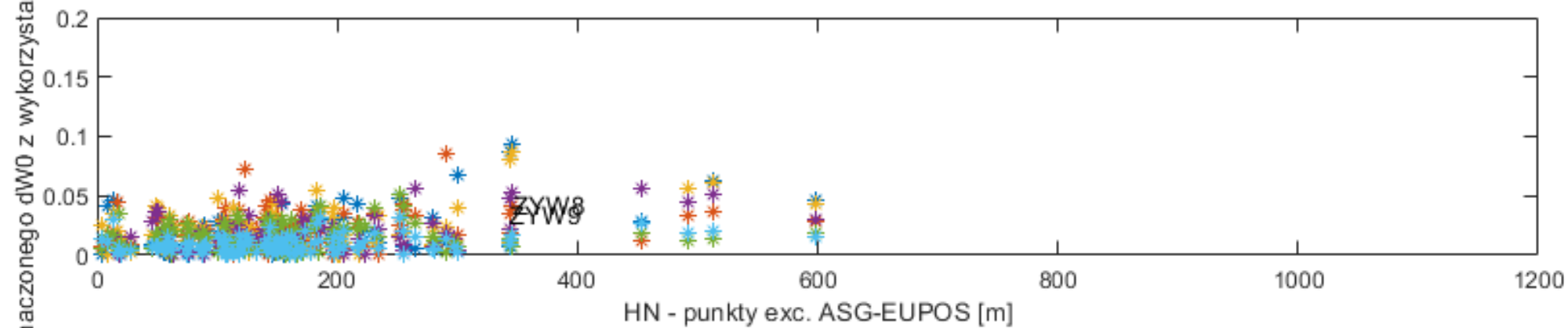
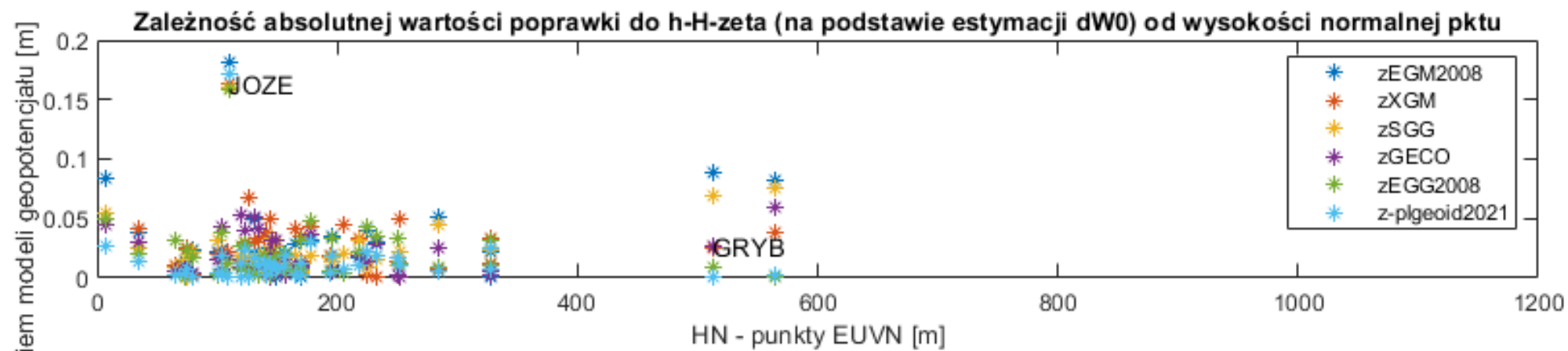


Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Wyniki

Statystyki poprawek (v) z wyznaczenia dW0

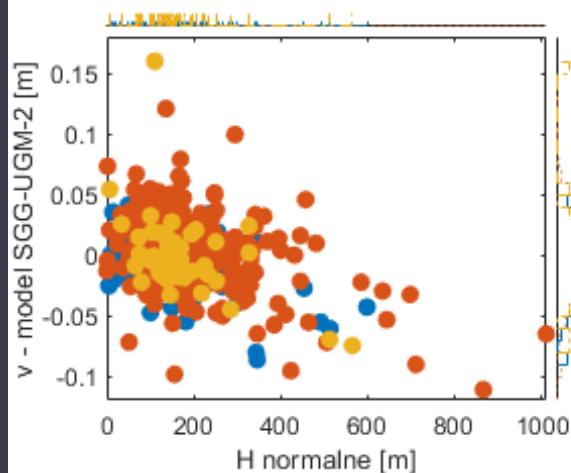
	min [m]						max [m]					
	EGM2008	XGM2019	SGG-UGM-2	GECO	EGG2008	PL-GEOID 2021	EGM2008	XGM2019	SGG-UGM-2	GECO	EGG2008	PL-GEOID 2021
A+E+P	-0.101	-0.092	-0.111	-0.087	-0.094	-0.075	0.181	0.163	0.160	0.171	0.159	0.172
exc ASG	-0.088	-0.080	-0.080	-0.052	-0.045	-0.026	0.052	0.078	0.048	0.056	0.040	0.036
EUVN	-0.088	-0.056	-0.075	-0.062	-0.045	-0.030	0.182	0.156	0.160	0.170	0.162	0.171
POLREF	-0.103	-0.094	-0.114	-0.088	-0.096	-0.077	0.110	0.138	0.118	0.135	0.107	0.099
UELN HN	-0.065	-0.072	-0.056	-0.064	-0.074	-0.043	0.038	0.056	0.039	0.037	0.049	0.036
UELN HO	-0.065	-0.072	-0.056	-0.064	-0.074	-0.043	0.038	0.056	0.039	0.037	0.049	0.036
	range [m]											
	EGM2008	XGM2019	SGG-UGM-2	GECO	EGG2008	PL-GEOID 2021						
A+E+P	0.282	0.255	0.271	0.258	0.252	0.247						
exc ASG	0.140	0.158	0.128	0.108	0.085	0.062						
EUVN	0.270	0.212	0.235	0.231	0.207	0.201						
POLREF	0.213	0.231	0.232	0.224	0.203	0.176						
UELN HN	0.103	0.128	0.094	0.102	0.124	0.079						
UELN HO	0.103	0.128	0.094	0.102	0.124	0.079						



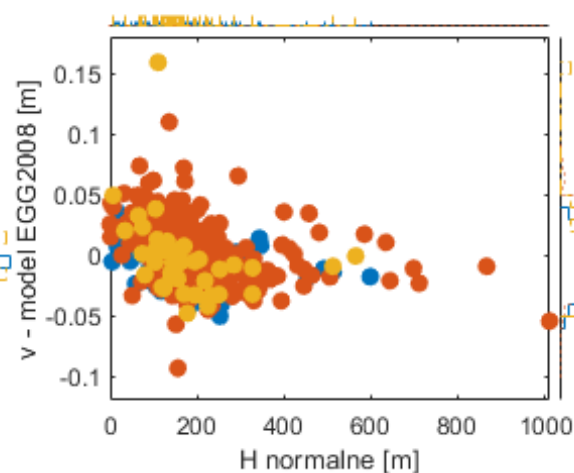
Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Zależność v od HN

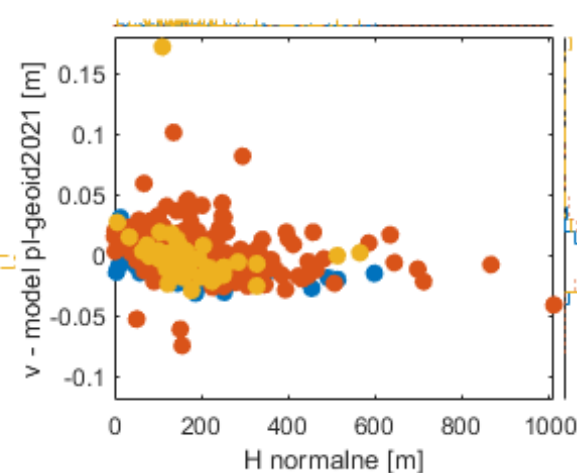
dW0 na podstawie punktów A+E+P,
ζ SGG-UGM-2



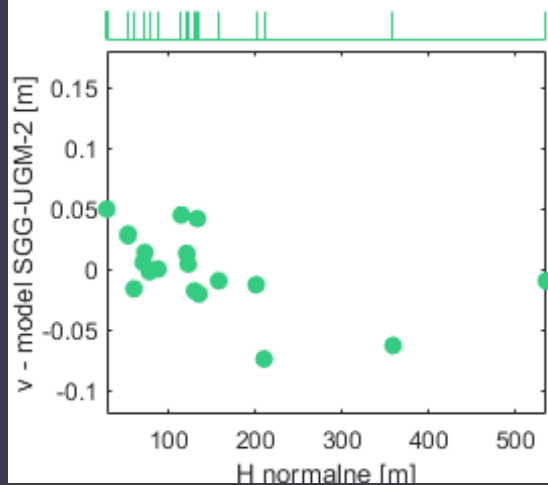
dW0 na podstawie punktów A+E+P,
ζ EGG2008



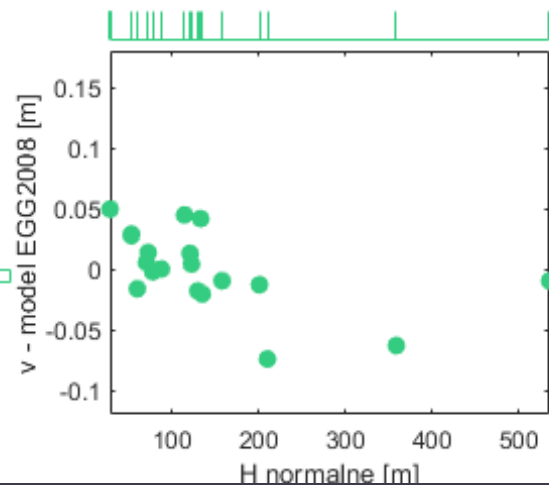
dW0 na podstawie punktów A+E+P,
ζ pl-geoid2021



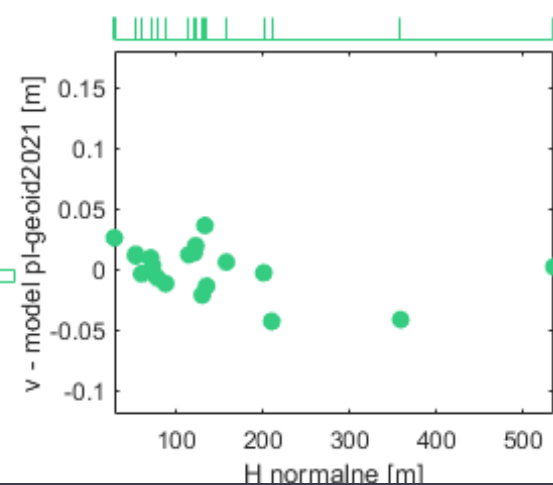
dW0 na podstawie punktów UELN,
ζ SGG-UGM-2



dW0 na podstawie punktów UELN,
ζ EGG2008

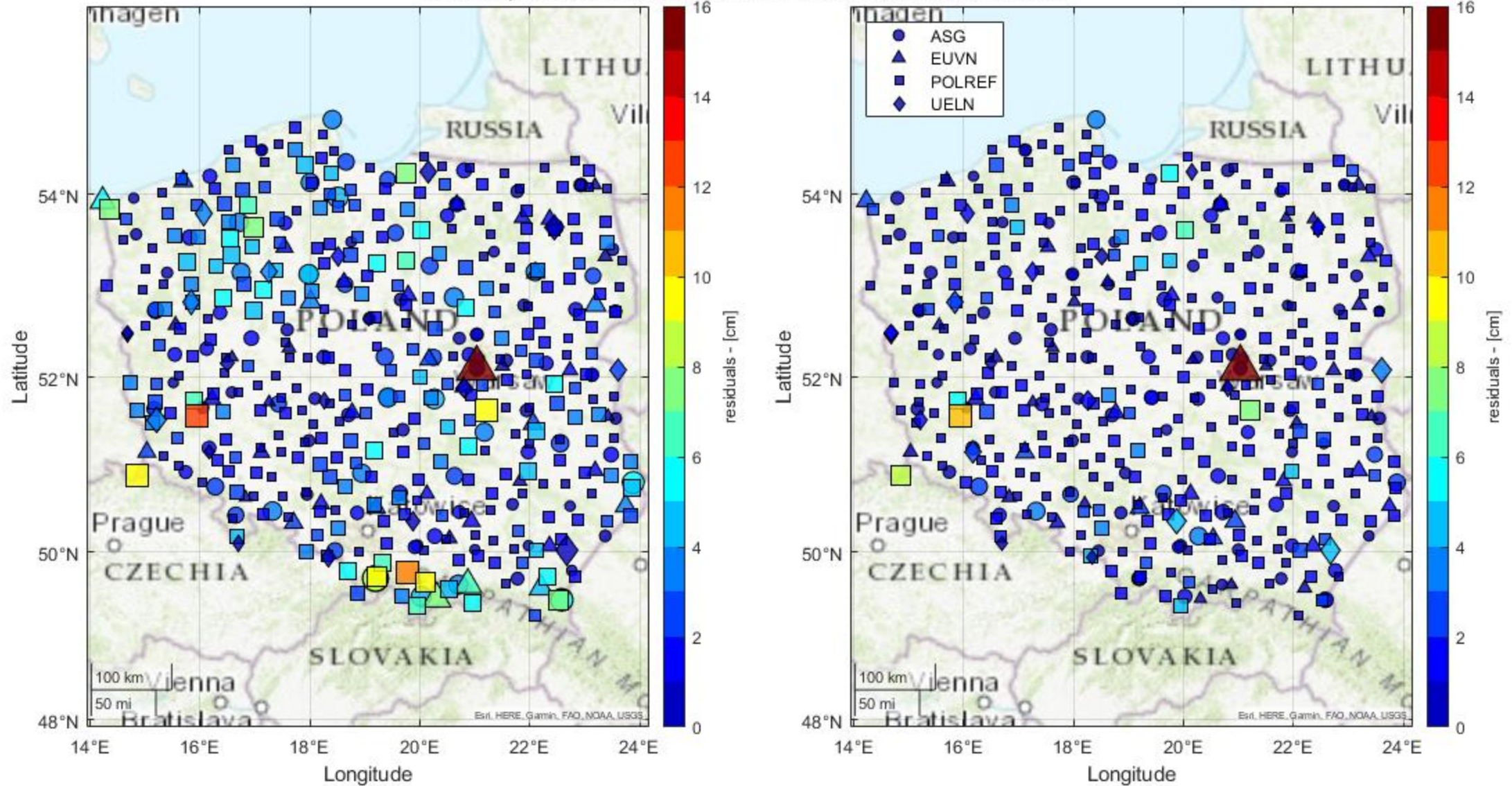


dW0 na podstawie punktów UELN,
ζ pl-geoid2021

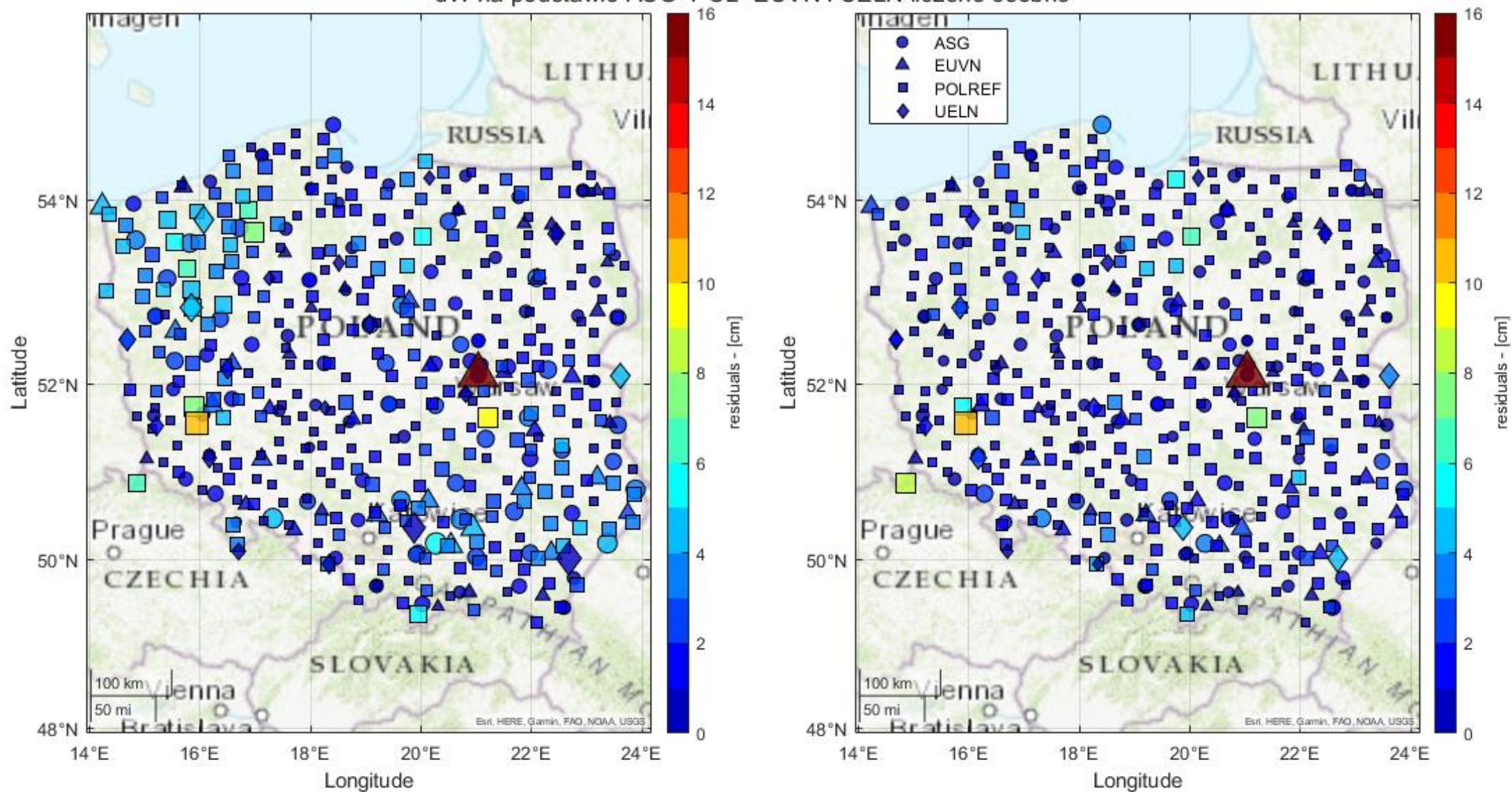


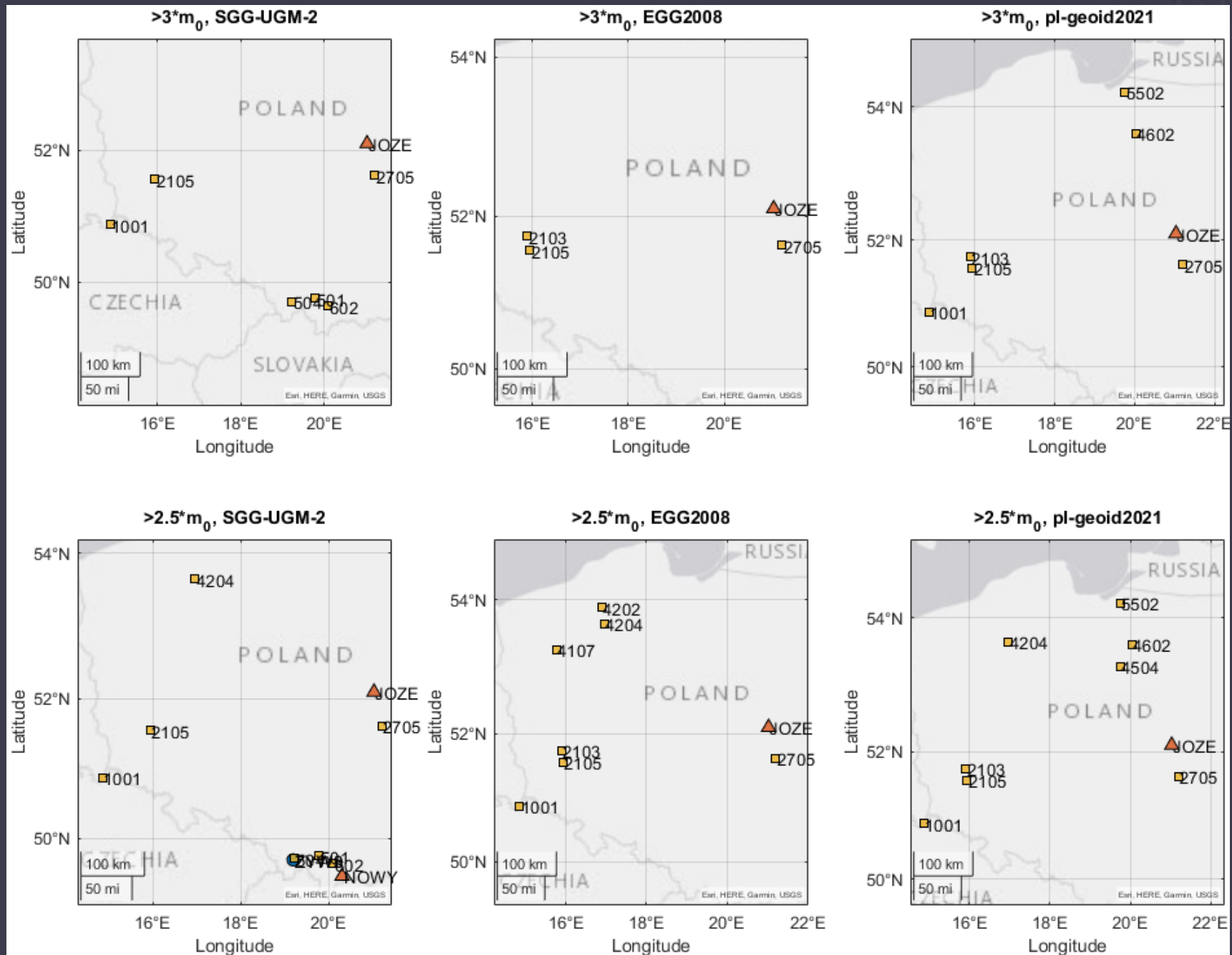
Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Porównanie $|v|$ dla modeli ζ SGG-UGM-2 i pl-geoid2021
dW na podstawie ASG+POL+EUVN i UELN liczone osobno



Porównanie $|v|$ dla modeli ζ EGG2008 i pl-geoid2021
dW na podstawie ASG+POL+EUVN i UELN liczone osobno





100
lecie

Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

SGG-UGM-2						
Nazwa	Typ	h [m]	HN_PZGIK [m]	v [m]	h_EU [m]	HN_EU [m]
JOZE	'EUVN'	141.4359	110.258	0.160	141.653	110.25878
2105	'POLREF'	176.0232	135.8993	0.121		
1001	'POLREF'	337.4284	294.8297	0.099		
4204	'POLREF'	201.5361	169.3783	0.079		
4002	'POLREF'	36.9691	1.512	0.073		
EGG2008						
Nazwa	Typ	h [m]	HN_PZGIK [m]	v [m]		
JOZE	'EUVN'	141.4359	110.258	0.159		
2105	'POLREF'	176.0232	135.8993	0.110		
2705	'POLREF'	189.2086	155.9302	-0.094		
2103	'POLREF'	107.4347	67.8176	0.073		
4204	'POLREF'	201.5361	169.3783	0.072		
PL-geoid2021						
Nazwa	Typ	h [m]	HN_PZGIK [m]	v [m]		
JOZE	'EUVN'	141.4359	110.258	0.172		
2105	'POLREF'	176.0232	135.8993	0.101		
1001	'POLREF'	337.4284	294.8297	0.081		
2705	'POLREF'	189.2086	155.9302	-0.075		
4602	'POLREF'	181.4764	151.508	-0.061		



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Nr UELN	Nr PZGIK	Nazwa	h_el_2022 [m]	HN_PZGIK [m]	HN_EU [m]	HN_2021 [m]	v [m]
SGG-UGM-2							
1706065	16630029	Jarosław	243.301	209.2035	209.20351	209.8639	-0.056
1706094	23420015	Grajewo	162.885	134.5414	134.54142	134.5414	-0.042
1706184	44130020	Czerna	161.25	120.4941	120.4941	120.4941	0.039
1706145	33220049	Buślary	147.853	114.0110	114.011	114.0110	0.032
EKG2008							
1706065	16630029	Jarosław	243.301	209.2035	209.20351	209.8639	-0.074
1717870	16310015	Szreniawa	397.943	358.7937	358.79373	358.7937	-0.063
1713080	41120017	Drezdenko	62.745	28.0438	28.04384	28.0438	0.049
1706145	33220049	Buślary	147.853	114.0110	114.011	114.0110	0.045
PL-geoid2021							
1706065	16630029	Jarosław	243.301	209.2035	209.20351	209.8639	-0.043
1717870	16310015	Szreniawa	397.943	358.7937	358.79373	358.7937	-0.042
1710228	11710010	Terespol	160.507	132.7271	132.72711	132.7271	0.036
1713080	41120017	Drezdenko	62.745	28.0438	28.04384	28.0438	0.026



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Wnioski

- Dobra zgodność uzyskanych wartości dW względem wartości „nominalnych”
- Dokładność modeli geopotencjału – efekt brzegowy, słabsze rezultaty w górach dla modeli globalnych
- Jakość sieci – błędy grube (JOZE?), przesunięcia punktów (POLREF?) – przełoży się to na kolejne iteracje obliczeń
- Mała liczebność punktów podstawowych sieci geodezyjnych na wysokościach >350m n. p. m.



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Wnioski

- UELN jest siecią o innej geometrii niż EUVN, zatem może stanowić dobrą „referencję” w realizacji EVRF/IHRF w Polsce
- Sprawdzenie metody z wykorzystaniem pomiarów grawimetrycznych może przynieść lepsze efekty, dla faktycznego „N”
- Na podstawie uzyskanych wartości dW_0 , różnice wysokości „IHRF” między poszczególnymi modelami quasigeoidy wyniosły max. 1 cm (EGM-SGG)



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej

Dziękuję za uwagę

Dorota Marjańska

dorota.marjanska@pw.edu.pl



Wydziału
Geodezji i Kartografii
Politechniki Warszawskiej