

**MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA
ZDALNEGO SYSTEMU MONITORINGU
WGŁĘBNEGO I POWIERZCHNIOWEGO
OSUWISK W KOPALNI ODKRYWKOWEJ
WĘGLA BRUNATNEGO
NA PODSTAWIE BADAŃ WYKONANYCH
W KWB BEŁCHATÓW
W RAMACH PROJEKTU UE RFCS SLOPES**



ZBIGNIEW BEDNARCZYK, Wrocław

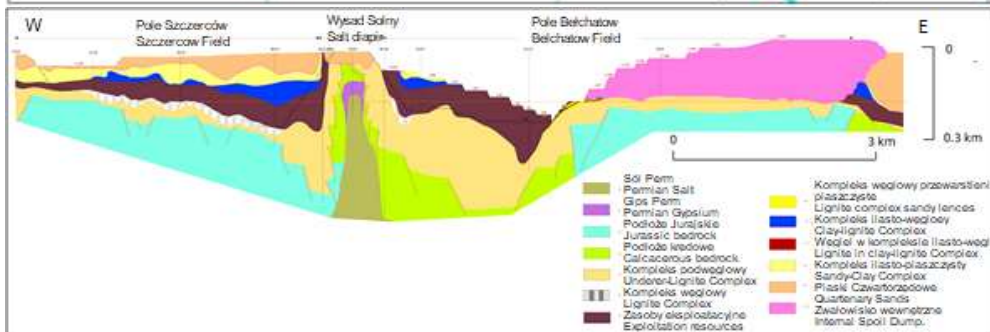
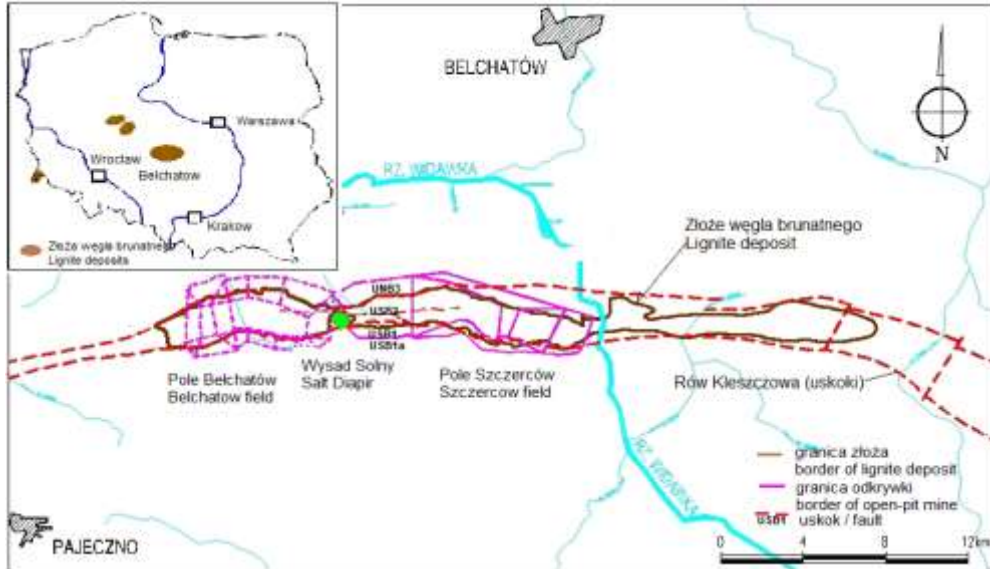
Wprowadzenie

1. **Osuwiska w polskich kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego stanowią poważny problem dla efektywności eksploatacji i środowiska. W niektórych przypadkach mogą zagrozić ciągłości dostaw węgla brunatnego do elektrowni.**
2. **Przeciwdziałanie im jest trudne ze względu na zazwyczaj duże rozmiary osuwisk i głębokość eksploatacji sięgającą do ponad 300 m.**
3. **W prezentacji przedstawiono pierwsze w Polsce zastosowanie monitoringu on-line dla oceny stateczności zbocza w kopalni odkrywkowej węgla brunatnego.**
4. **Monitoring in-situ w KWB Bełchatów został uzupełniony satelitarną interferometrią radarową PSI laserowym skanowaniem LiDAR UAV i naziemnym skanowaniem laserowym.**
5. **Badania ramach projektu RFCS EU SLOPES "SMARTER LIGNITE OPEN PIT ENGINEERING SOLUTIONS" prowadziło konsorcjum z sześciu krajów europejskich UK (UoN, UoE), Czechy (VUHU), Hiszpania (Subterra, Geocontrol), Grecja (CERTH), Francja (Ineris).**

Badania osuwisk w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego

1. Osuwiska są najważniejszym zagrożeniem dla eksploatacji. Ich eliminacja jest trudna lub niemożliwa. Na powstanie osuwisk wpływa głębokość eksploatacji, budowa geologiczna, parametry wytrzymałościowe gruntów, opady, wody gruntowe, stosowanie materiałów wybuchowych, sejsmiczność, krasowość, przesiąkanie i sufozja. Skala osuwisk może być duża, zapobieganie najczęściej ogranicza się do zmiany geometrii zboczy, odwodnienia i monitoringu.
2. Dla lepszego poznania procesów i przeciwdziałania szczególne znaczenie ma zastosowanie komplementarnych metod badawczych. Niezbędne są wiercenia rdzeniowe, geofizyka, testy laboratoryjne i modelowanie numeryczne. Warunki geologiczno-inżynierskie muszą być szczegółowo scharakteryzowane i rozpoznane jakościowo. Celem monitoringu jest uzyskanie wiarygodnych danych do określenia stateczności zboczy, oceny ryzyka i modelowania.
3. W każdej kopalni odkrywkowej można wyróżnić trzy rodzaje zboczy:
 - (1) **zbrocza stała**, wyznaczające granice eksploatacji w celu uzyskania koncesji, niezmiennie od lat,
 - (2) **zbrocza czasowe**, powstające w procesie wydobywania, określające bieżącą eksploatację,
 - (3) **zbrocza zwałowisk nadkładu**.
4. Dla każdej konfiguracji zboczy należy dobrać odpowiednie metody monitoringu, pozwalające na sprawdzenie wielkości przemieszczeń w stosunku do przewidywanych na etapie projektowania. Przemieszczenia powierzchniowe można zidentyfikować za pomocą nowoczesnych metod pomiarowych, takich jak skanowanie laserowe (naziemne lub UAV), naziemne skanowanie SAR lub interferometryczne satelitarne skanowanie radarowe o wysokiej rozdzielczości (PSI). Przemieszczenia w głębie gruntu i dane dotyczące ciśnienia porowego są również bardzo ważne, mogą dostarczyć szczegółowych danych dla ostrzegania przed wystąpieniem znaczących osuwisk.

Lokalizacja



KWB Belchatów

Zasoby 2 mld t

Eksploatacja 38.5 mln t/rok

(od 1980 r. 1 mld t)

Długość - 12.5 km,

Szerokość- 3 km

Głębokość - 310 m

Nadkład 100-120 mln m³/rok

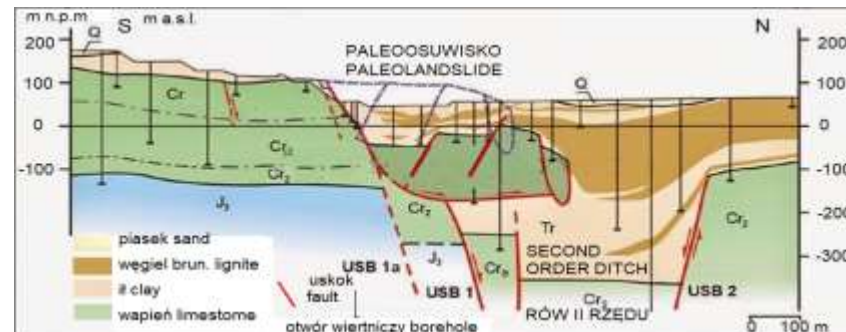
Osuwiska – strukturalne do 3.5 mln m³, predk. 2mm-2m/dobę

- zbocze południowe, paleosuwiskowe

- zbocze północne łączy zastoiskowe, warwowe

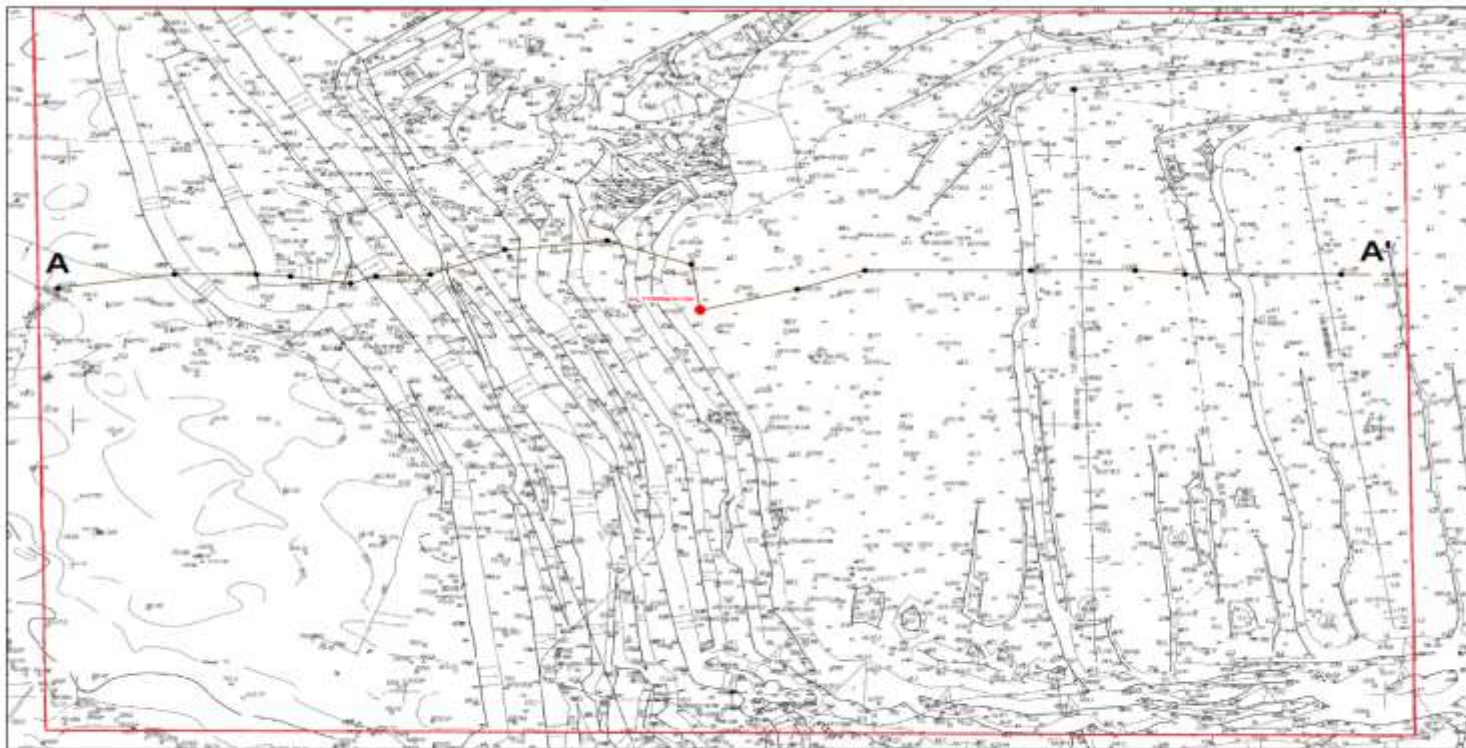
- zachodnie w miarę zbliżania się do wysadu solnego

w 2012 roku 32 strefy zagrożeń (Felisiak i in. 2014).

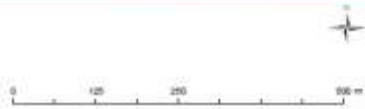


Czarnecki, Felisiak 2004

Monitoring wgłębnny - lokalizacja



- Legenda**
- projektowany otwór
 - obszar badań
 - otwory ujęte w przekroju A - A'
 - przekrój geologiczno-techniczny

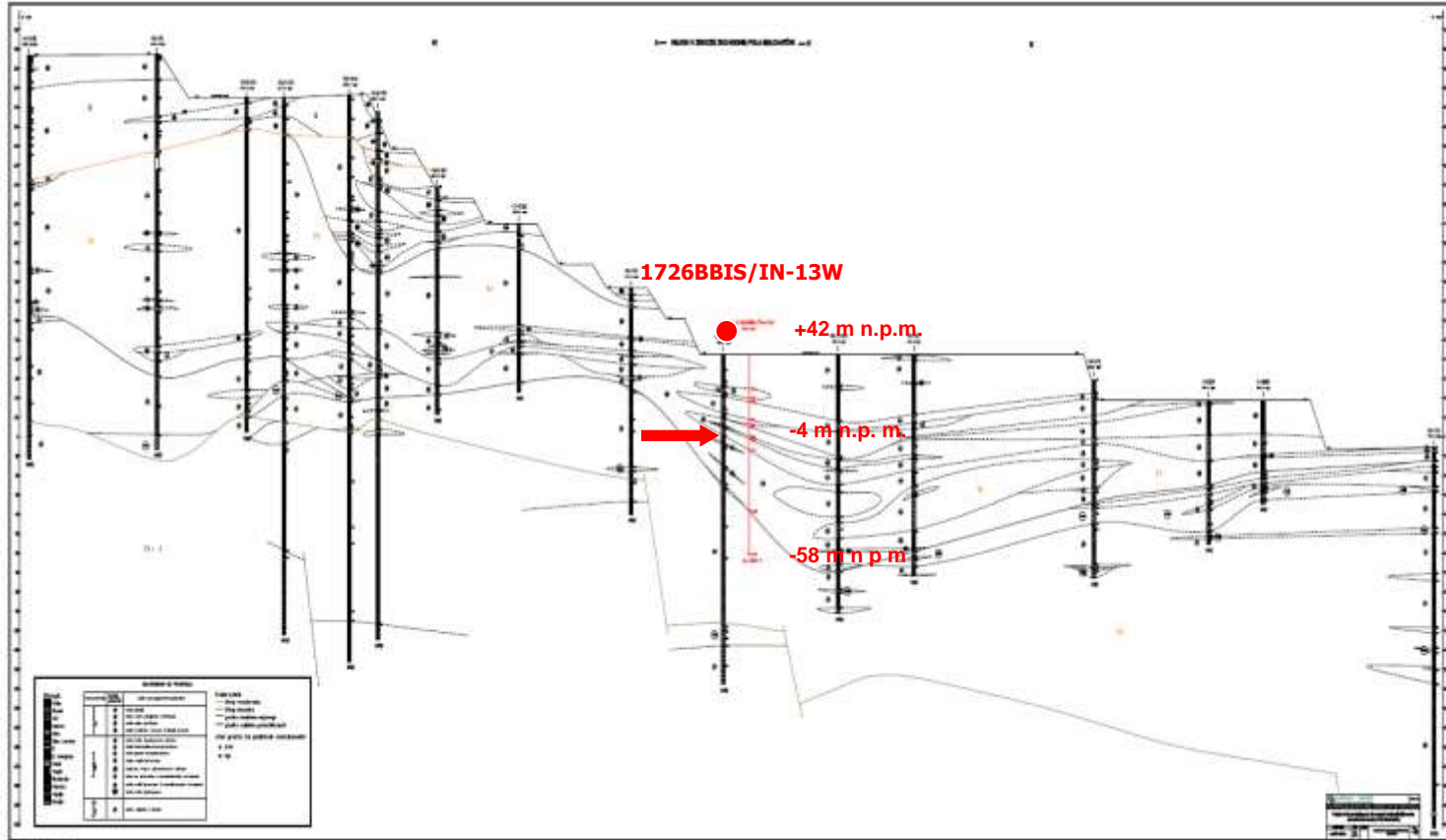


poltegor - instytut
Instytut Górnictwa i Geologii

Geologia PGE Skarbiec i kopalni węgla kamiennego SA (zob. 4) kopalni Skarbiec - Skarbiec
Regionalny geologiczny dla potrzeb inżynierii i eksploatacji na obszarze kopalni Tala
Skarbiec

Geologia	Temat	Data	MAPA SYTUACYJNA / OBYWISKOWA	Skala
1:50 000	1:50 000	2011	1:50 000	1:50 000

Monitoring wgłębny - lokalizacja



Pole Bełchatów
Zbocze zach.
poz +42 m n.p.m.

Wiercenia rdzeniowe

Podanytych Słonec		Charakterystyka Geologiczna Profila				Skala 1:1000		
Wiercenie nr 10 / 10000		Profil na osi: WZKREŚCENIE				Długość 1000m		
Nazwa Wiercenia		Ciepły Słonec (Lubimów-10000)		Długość wiercenia, m				
Czas Wiercenia		Słonec 10000m		Długość wiercenia, m				
Profil Wiercenia		Długość wiercenia (m)		Długość wiercenia (m)				
Ciepły Słonec	Długość	Długość	Długość	Długość	Długość	Długość	Długość	Długość
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0	0	0	0
53	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0	0	0	0
57	0	0	0	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0	0	0	0
59	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0
61	0	0	0	0	0	0	0	0
62	0	0	0	0	0	0	0	0
63	0	0	0	0	0	0	0	0
64	0	0	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0	0	0	0
66	0	0	0	0	0	0	0	0
67	0	0	0	0	0	0	0	0
68	0	0	0	0	0	0	0	0
69	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0
71	0	0	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	0	0	0
73	0	0	0	0	0	0	0	0
74	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0	0	0
76	0	0	0	0	0	0	0	0
77	0	0	0	0	0	0	0	0
78	0	0	0	0	0	0	0	0
79	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0
81	0	0	0	0	0	0	0	0
82	0	0	0	0	0	0	0	0
83	0	0	0	0	0	0	0	0
84	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0
86	0	0	0	0	0	0	0	0
87	0	0	0	0	0	0	0	0
88	0	0	0	0	0	0	0	0
89	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0
91	0	0	0	0	0	0	0	0
92	0	0	0	0	0	0	0	0
93	0	0	0	0	0	0	0	0
94	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0	0	0
97	0	0	0	0	0	0	0	0
98	0	0	0	0	0	0	0	0
99	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0

46.0



Wiercenia, pobór próbek, instrumentacja



Otwór wiertniczy na zboczu zach. poziom +42 m. n.p.m.
- głębokość 100 m, średnica 132 mm.

Badania laboratoryjne, 31 próbek NNS, cylindry Osterberga 90 mm

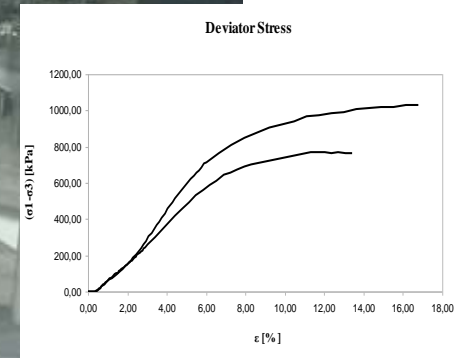
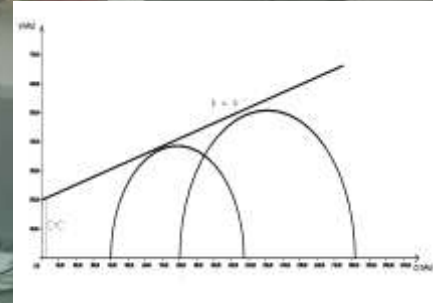
Monitoring inklinometryczny głębokość 100 m,

- system ciągły sztywnych segmentów,
- 3 magnetometry do kontroli rotacji.
- 200 czujników przemieszczeń gruntu co 0,5 m - każdy segment 3 czujniki pochylenia, zakres pomiarowy $\pm 45^\circ$
- dokładność 0,02 mm/m, dopuszczalny błąd $0,25^\circ$
- każdy oktet, 8 segmentów, długości 4 m z czujnikami temp.
- czujnik ciśnienia porowego VW na głębokości 30 m.
- rejestrator, transmisja danych GPRS, zasilanie panel słoneczny.
- dane co 360 minut dostępne on-line 19.12.2016-4.02.2021.



Badania Laboratoryjne

- Testy trójosiowe CIU, CID 30 próbek
- Wilgotność nat. (11), Zaw. cz. org. (9) Gęstość objętościowa (11),
- Gran. Płynności i plastyczności. (3), test bezpośredniego ścinania (2),
- Badanie edometryczne (1)



Badania Laboratoryjne

No	Sample	Depth [m]	Soil type	Test type	Soil strength parameters			
					Friction angle		Cohesion	
					ϕ	ϕ'	c	c'
					[deg]	[deg]	[kPa]	[kPa]
1	2	4.0	loamy sand	CIU	42.87	42.98	0	0
2	3	16.4	sandy silt	CIU	33.51	34.13	27.75	19.66
3	4	29.3	loam	CIU	11.37	14.53	66.26	103.20
4	5	33.0	silty clay	CIU	21.83	30.29	129.17	32.53
5	5/1	33,5	lignite	CID		19.00		200.00
6	6	46.4	clay	CIU	8.54	9.85	6.31	18.71
7	7	47.5	loamy sand	CIU	55.13	28.64	0	0
8	8	50.5	clay	CIU	12.96	15.50	373.03	345.11
9	14	57.5	loamy sand	CIU	29.08	28.40	0	0
10	16cz	81.0	sandy silt	CIU	35.35	34.97	32.32	41.22
11	16m	81.5	Sandy silt	CIU	32.35	32.40	154.88	153.60

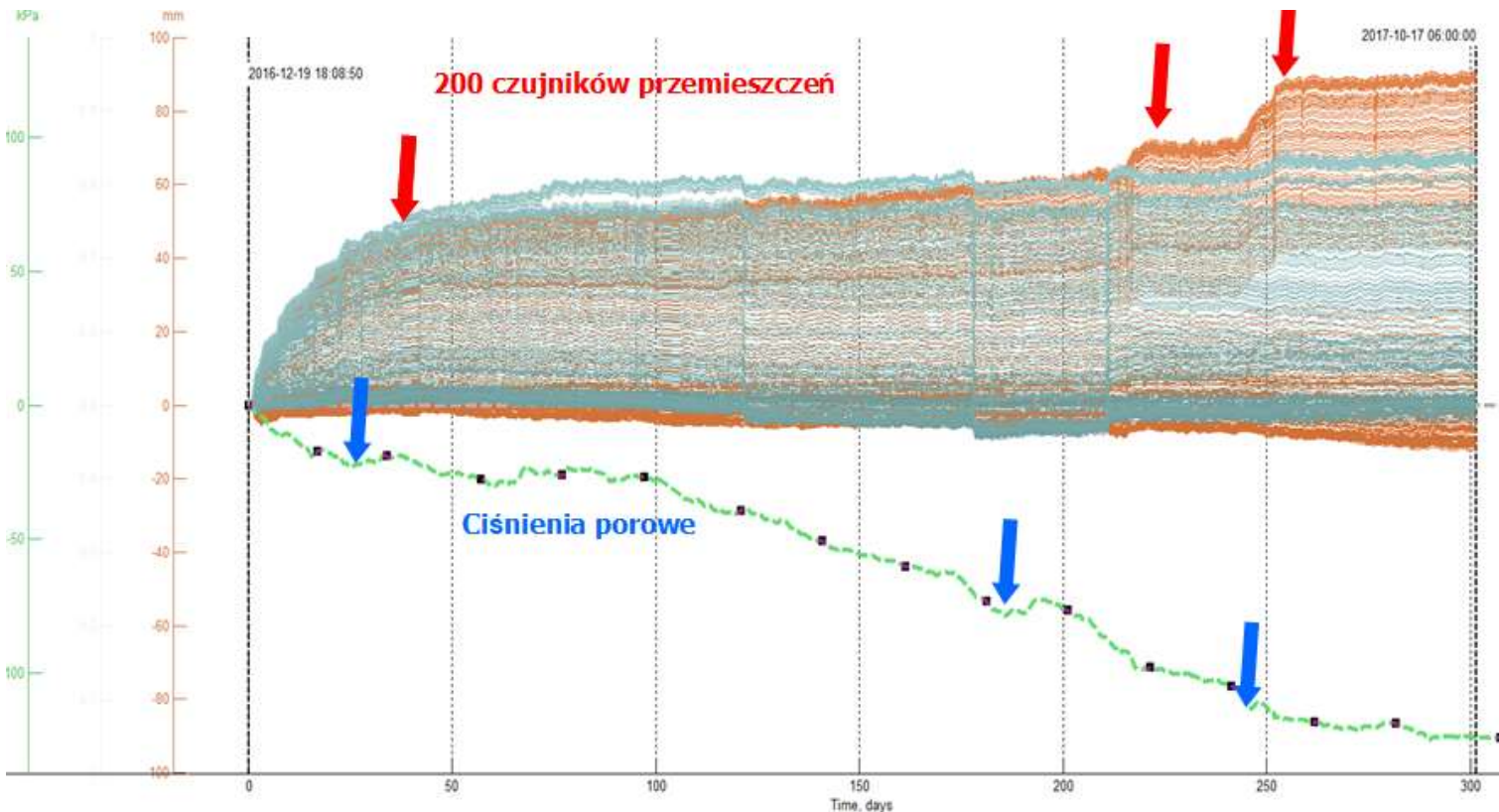
No	Soil type	Depth	M %	FOM %	ρ g/cm ³	ρ_d g/cm ³	WP [%]	WL [%]	LI [-]	ϕ [°]	c kPa	Mo MPa	M MPa
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11*
1	Sandy loam	0.50-0.60	15.4	2.65	2.20	1.91	11.9	31.4	0.17				
2	Loamy sand	16.4-16.8	21.1	3.29	2.12	1.75							
3	Loam	29.5-29.6	18.8	9.48	1.88	1.58							
4	Sandy loam	53.8-54.0	30.8	5.51	1.97	1.51	24.2	43.1	0.35	27.9	29.0		
5	Loamy sand	54.1-54.3	17.8		2.25	1.91							
6	Loamy sand	57.5-57.6	17.2	4.38	2.29	1.94							
7	Sandy loam	63.3-63.4	13.6		2.26	1.99							
8	Sandy silt	82.0-82.5	32.8	18.9	1.64	1.23	23.5	46.3	0.41	19.5	22,8	1.74	8.40
9	Loamy sand	92.5-92.7	24.5	19.3	1.74	1.39							
10	Sandy loam	93.5-94.0	16.3	5.06	2.15	1.85							
11	Loamy sand	103-103.3	28.8	7.53	1.96	1.53							

	[deg]	[deg]	[kPa]	[kPa]	Mo
Loamy sand	42.8 25.5 28,4	42.9 28.6 29.1	0 0 0	0 0 0	4.0-4.5 47.5-48.0 57.5-57.6
Lignite		19		200	33.5-34.0
Silty clay	21.8	30.3	129.2	132.5	33.0-33.5
Clay	8.5	9,8	6.3	18.7	46.4-46.7
Loam	11.4	14.5	66.3	103.2	29.3-29.5
Sandy silt	33.5 35.4 32.3	34.1 34.9 32.4	27.8 32.3 154.9	19.6 41.2 153.6	16.4-16.8 81.0-81.5 81.5-81.7

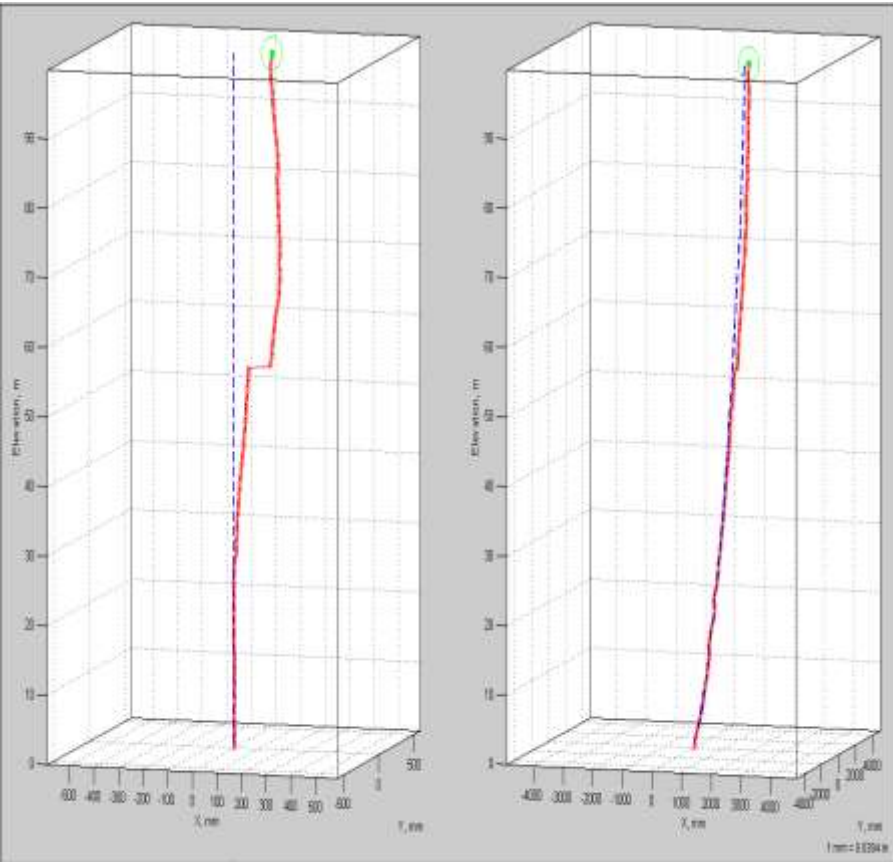
Monitoring wgłębny on-line



Monitoring wgłębny on-line

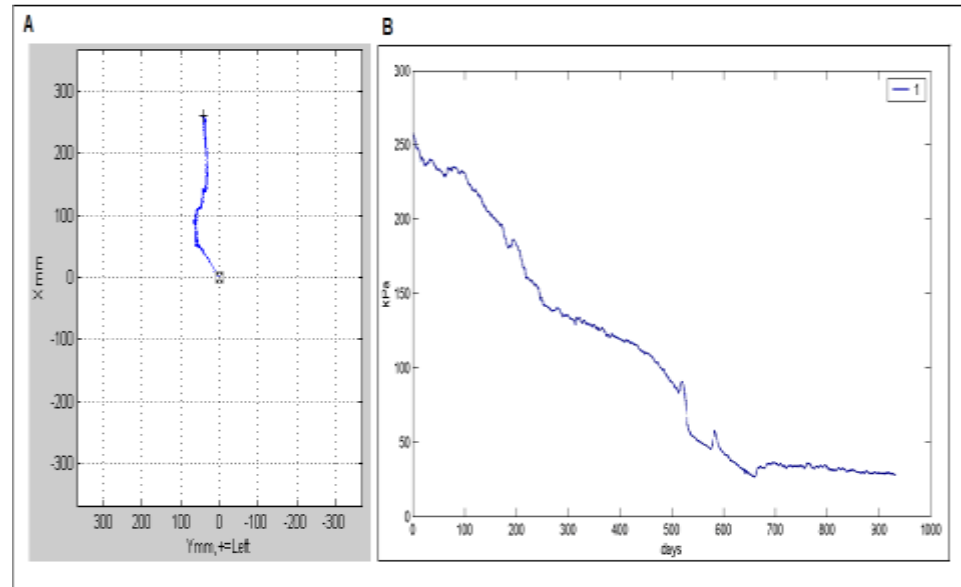


Monitoring wgłębny on-line

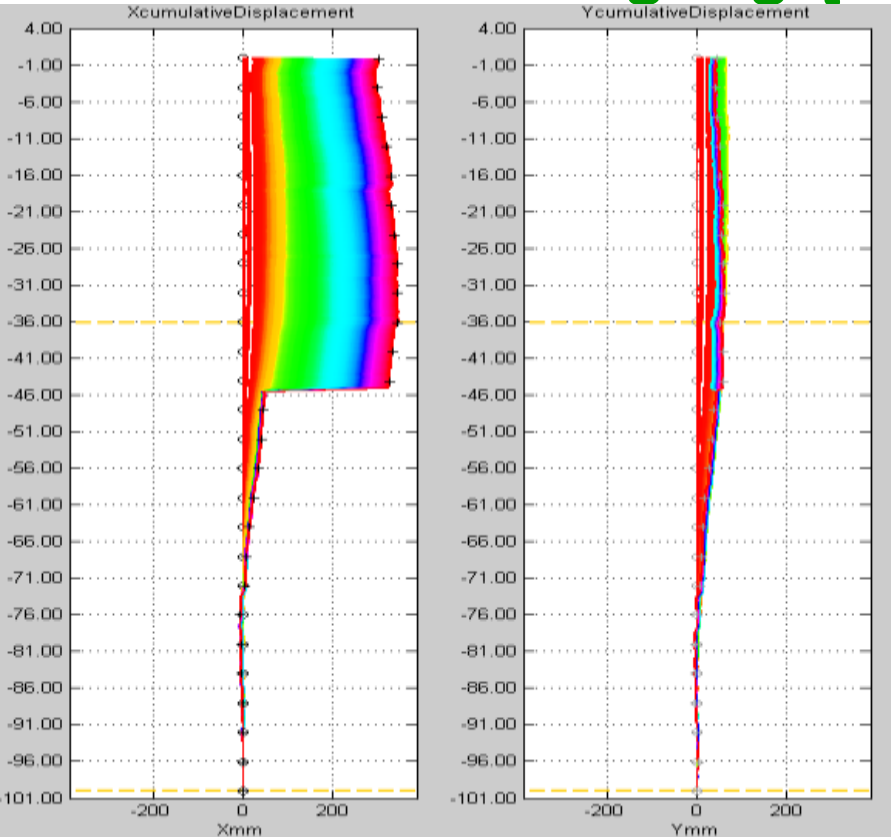


Model 3 D przemieszczeń X, Y
Kierunek przemieszczeń W-E (na początku NE)
Ciśnienie porowe na gł. 30 m spadło z 250 kPa do 25kPa (B)

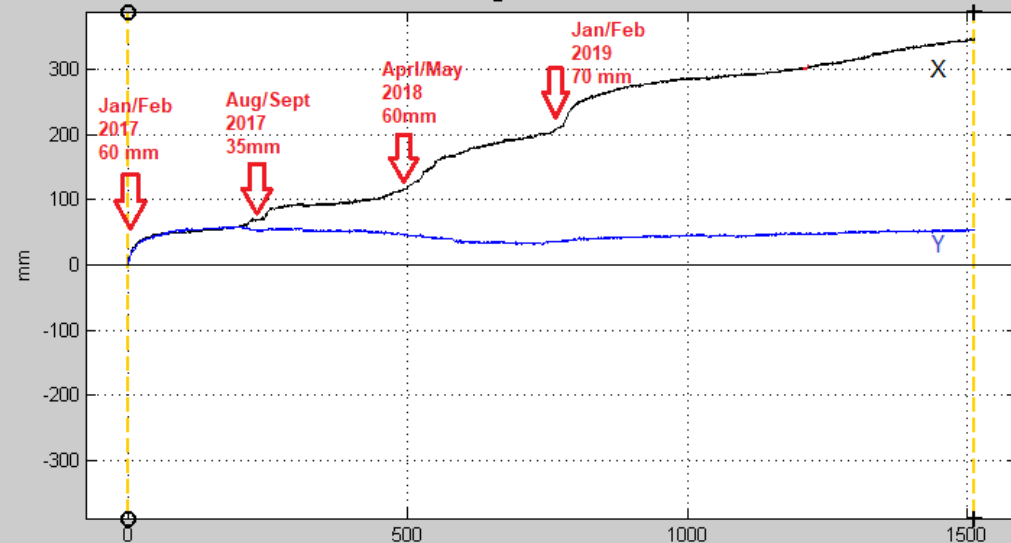
K



Monitoring węglony on-line do 9.02.2021

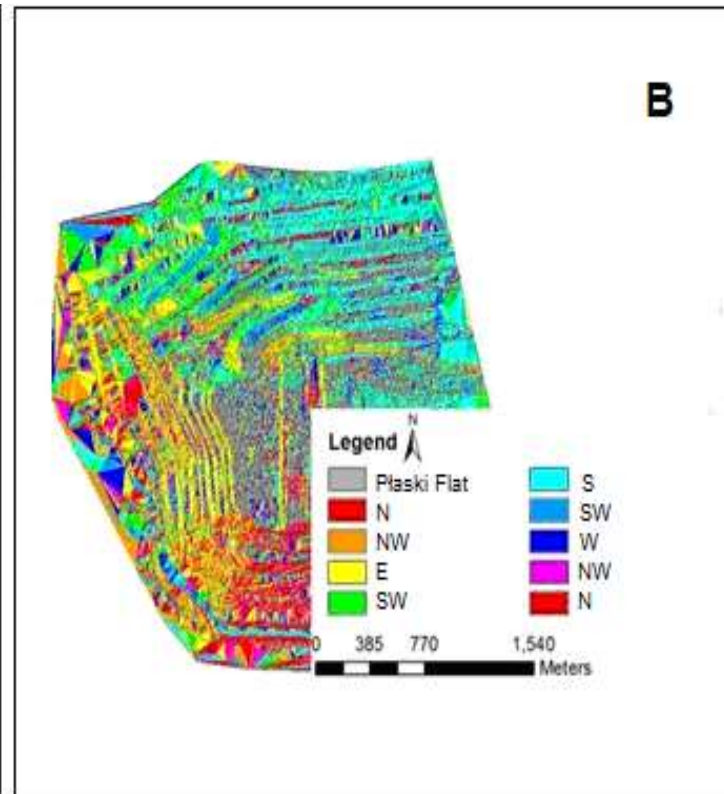
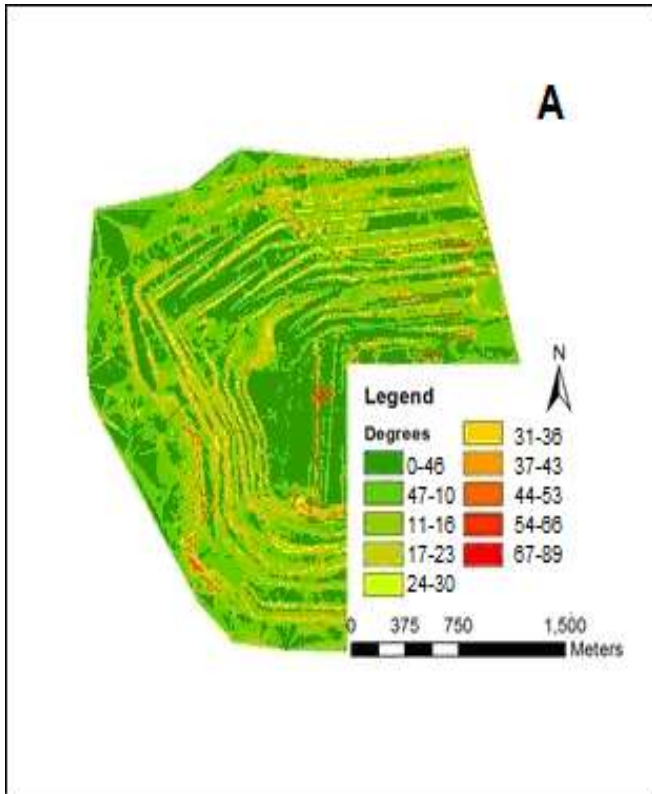


Monitoring trwał ponad 4 lata (1512 dni)
Do 9.02.2021 przemieszczenia 350 mm
do gł. 46 m (największe na 36m)



20-Dec-2016 00:00:31 : 09-Feb-2021 12:00:00 [1512.50 days]

Naziemny skaning laserowy



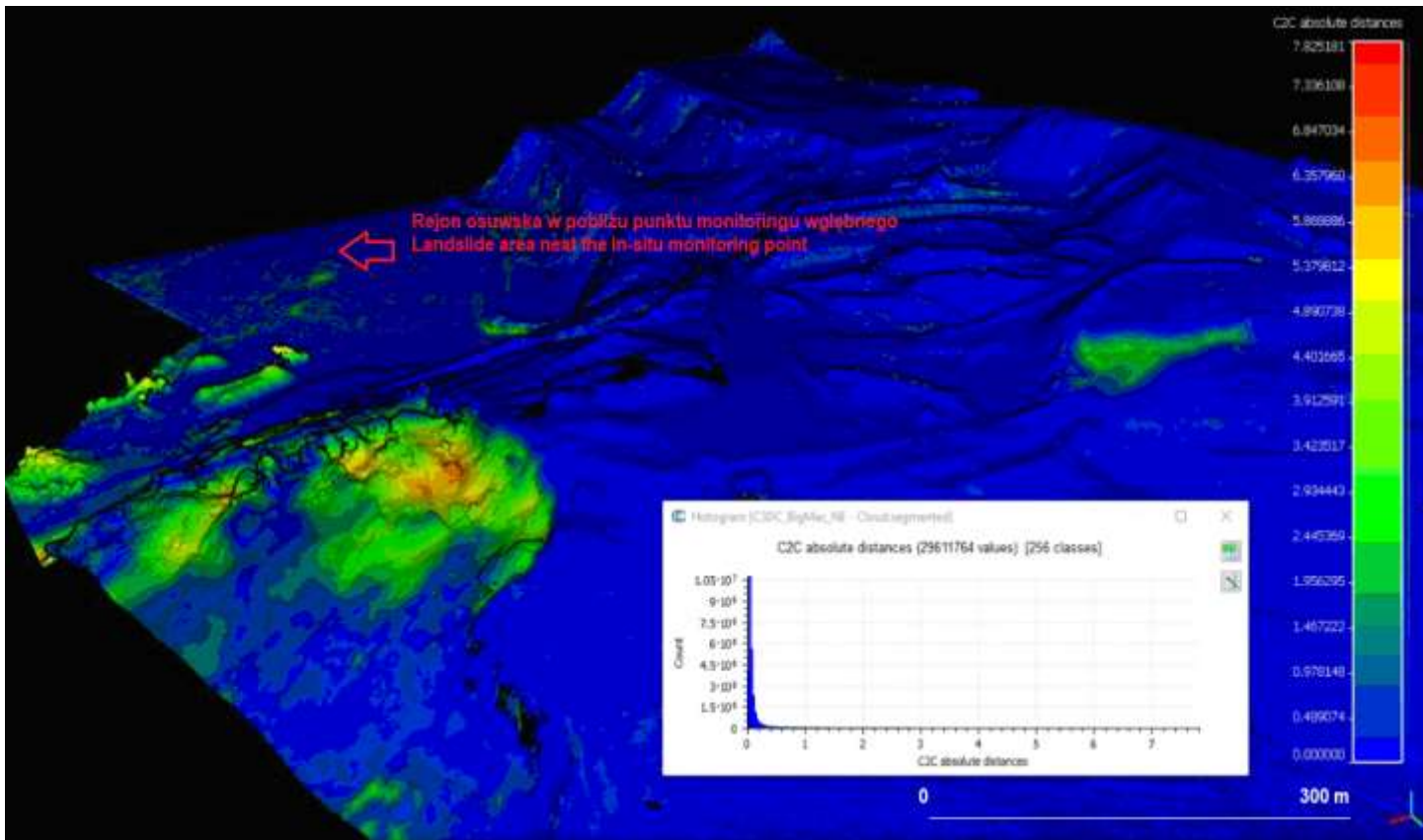
Uniwersytet Exeter
(Wielka Brytania)
06.2016

Skaner laserowy Rigel-VZ4000
(zasięg ponad 3 km)
4 miejsca na zboczu
południowym,
2 na zboczu północnym.

Numeryczny model terenu
Określenia kąta nachylenia
i kierunku geograficznego zbocza
przy użyciu oprogramowania
ArcGIS.

Na rys A kąty nachylenia od kilku
do około 70 stopni
Na rys. B kierunki nachylenia

Pomiary LIDAR UAV



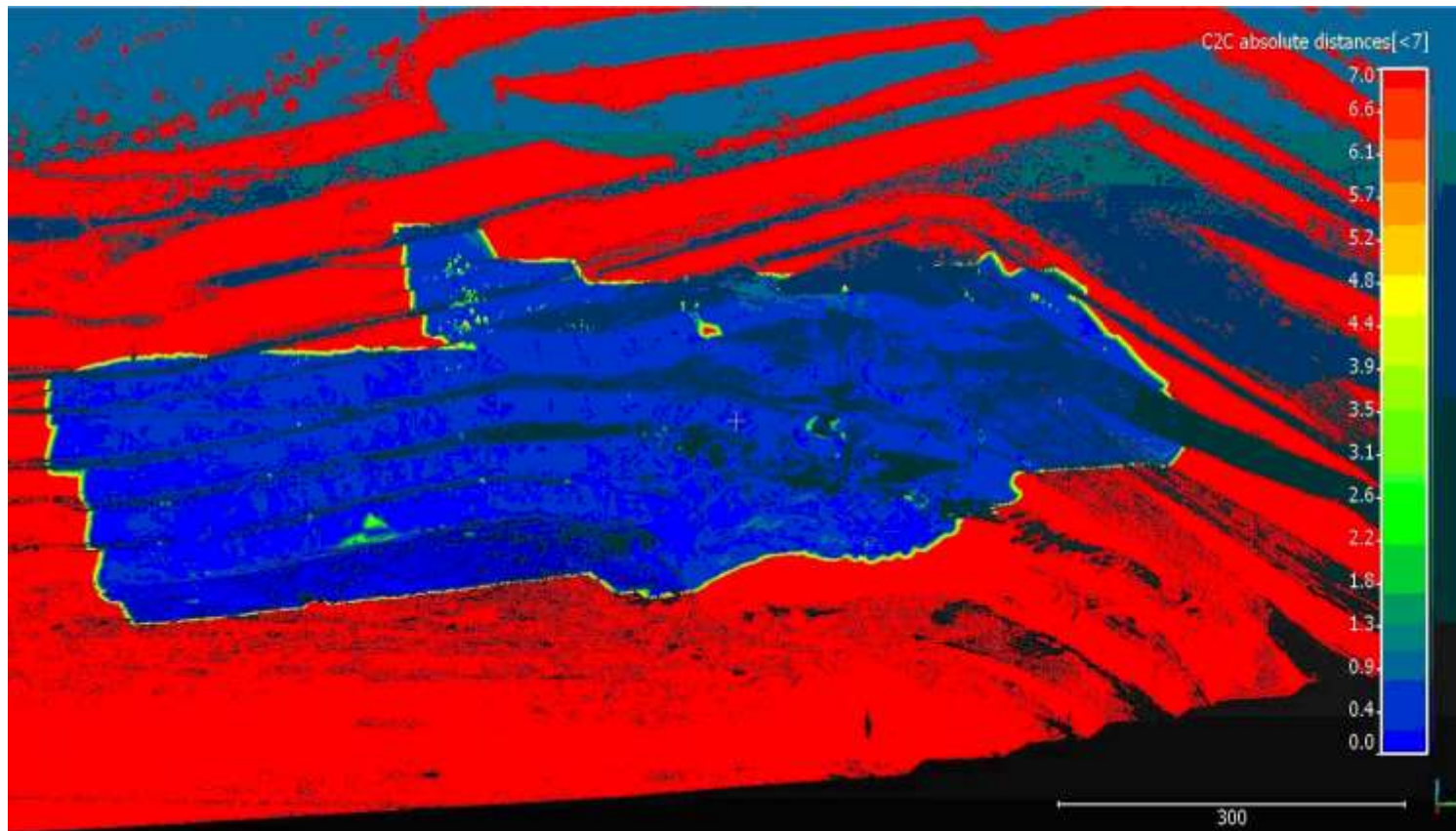
Część N zbocza zachodniego

INERIS Francja
skaner YellowScan

Pomiary 11. 2016, 03.2017

Przemieszczenia
do 6 mm kolor pomarańczowy

Pomiary LIDAR UAV



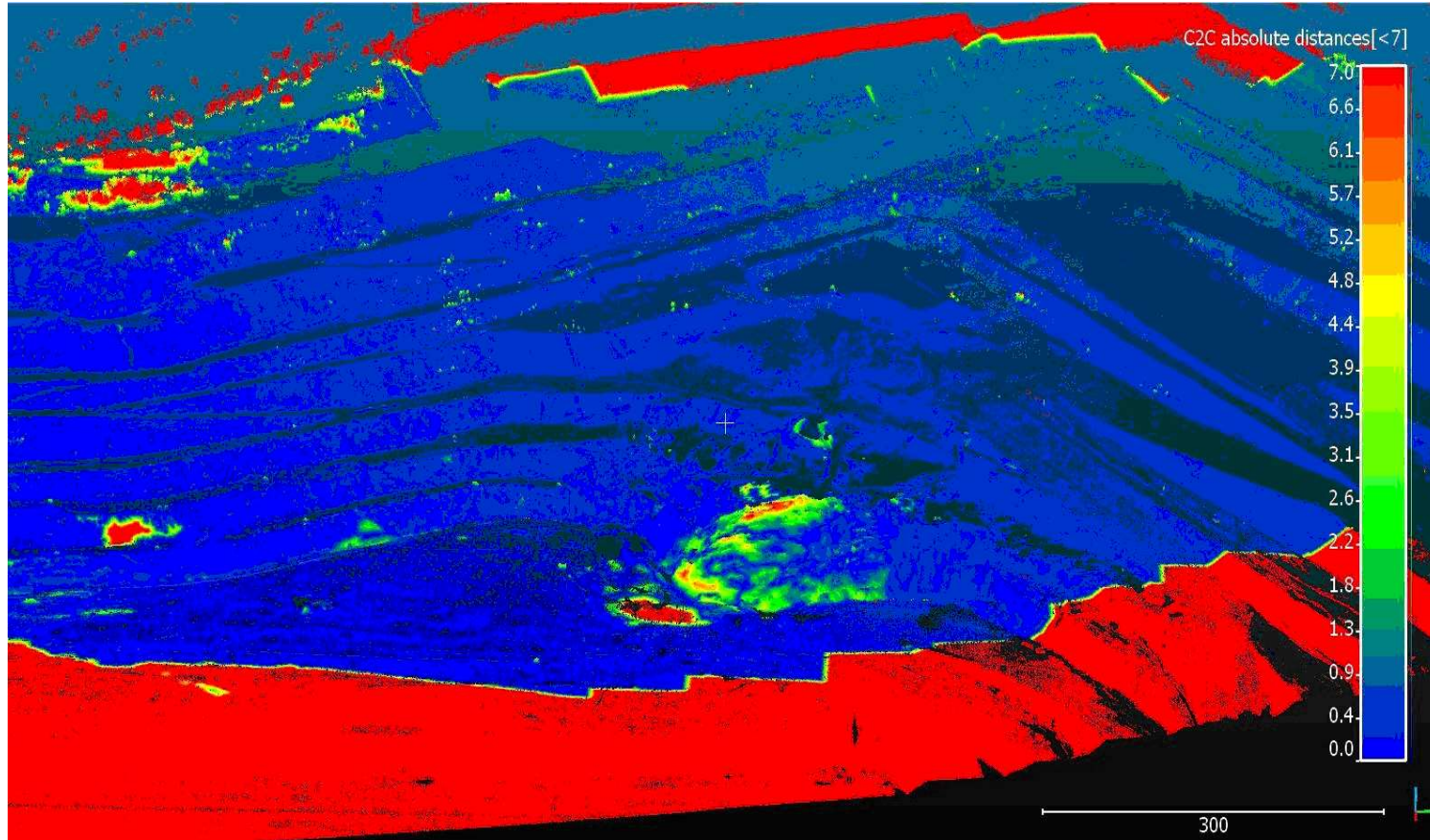
Część N zbocza zachodniego

Pomiary 11. 2016, 03.2017

Porównanie naziemnego
skanowania laserowego TLS
z 06.2016 i fotogrametrii
lotniczej Lidar z 03.2017

Przemieszczenia
do 7 mm

Pomiary LIDAR UAV



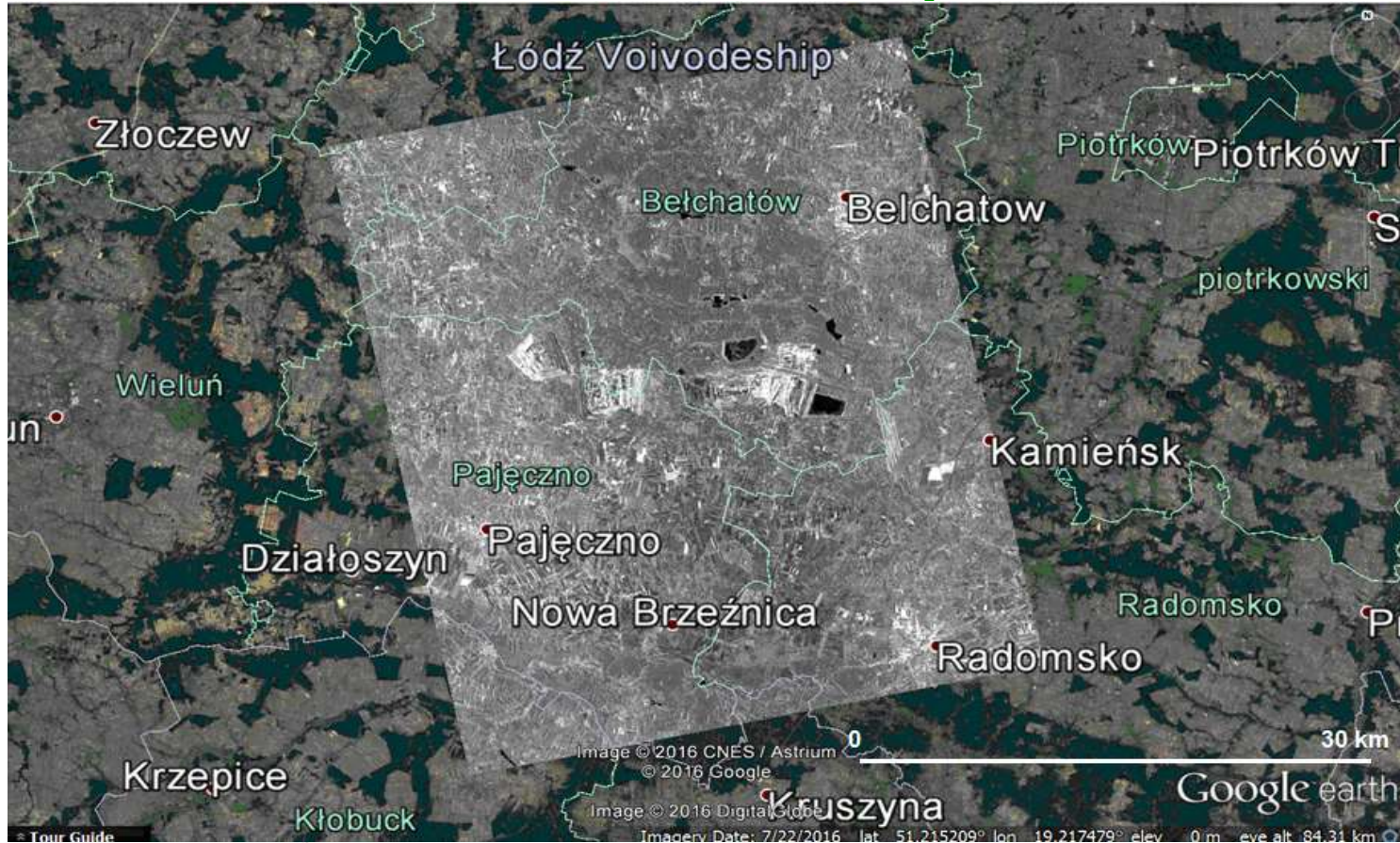
Čzęść N zbocza zachodniego

Pomiary 11. 2016, 03.2017

Porównanie naziemnego skanowania laserowego TLS z 11.2016 i fotogrametrii lotniczej Lidar z 03.2017 (w czasie 3 miesięcy)

Przemieszczenia do 6 mm

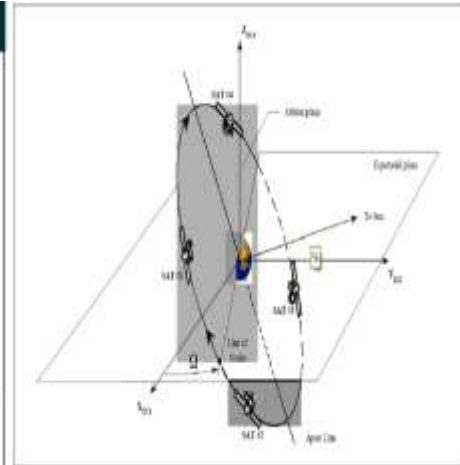
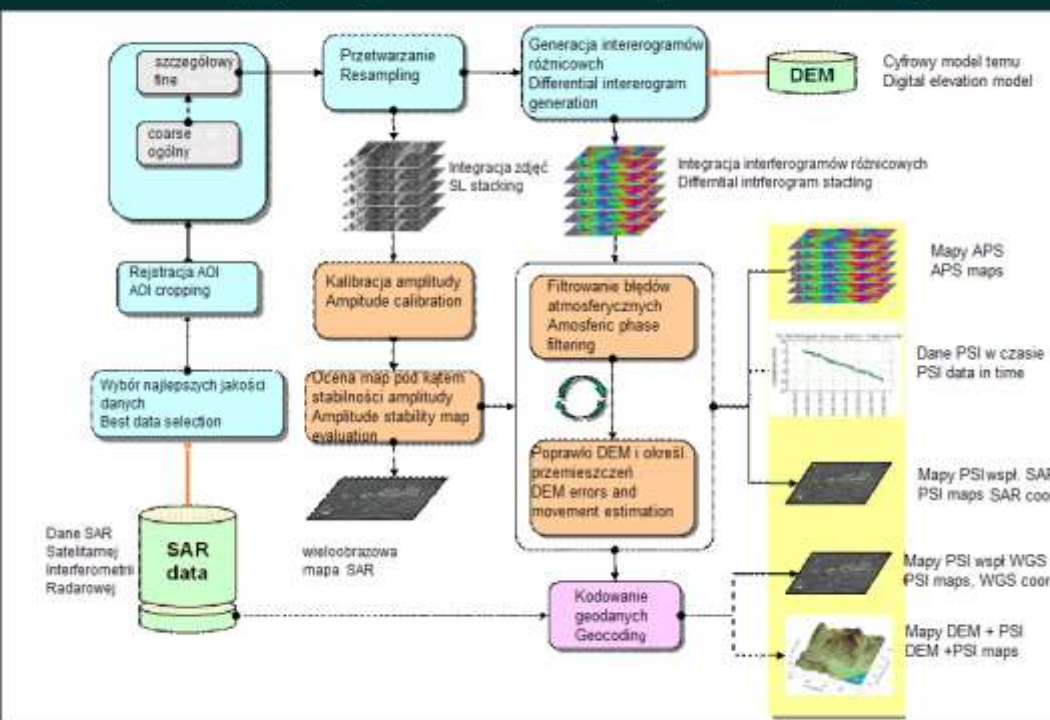
Pomiary PSI



Pomiary PSI

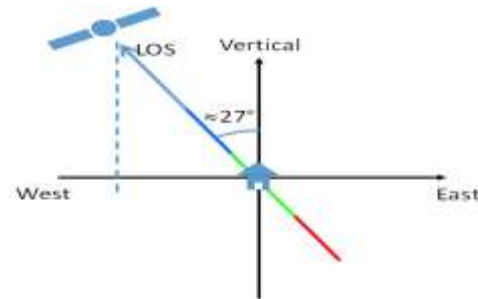
Schemat działania programu Spinua

Spinua software operating scheme



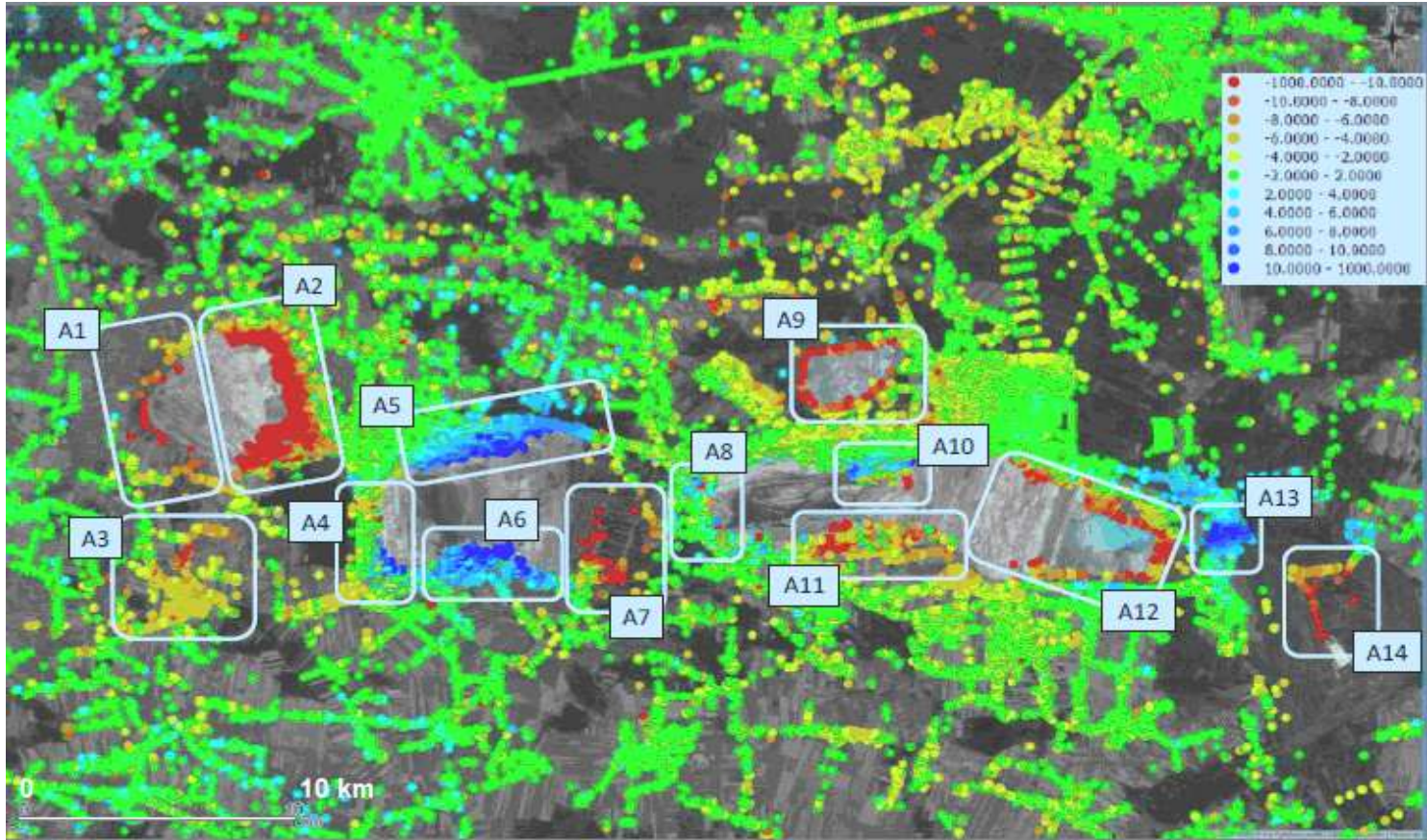
Satelita COSMO-SkyMed składa się z 4 satelitów z wielomodowym radarem SAR, o wysokiej rozdziel.

Dziesięciokrotne zwiększenie rozdzielności zasięgu naziemnego (w odniesieniu do danych ERS/ENVISAT/Sentinel-1) oraz krótszy cykl powtarz.



Oprogramowanie SPINUA pozwala na tworzenie interferogramów różnicowych, które analizują obraz główny w funkcji czasu i przestrzeni.

Pomiary PSI



781206 punktów
14 stref przemieszczeń

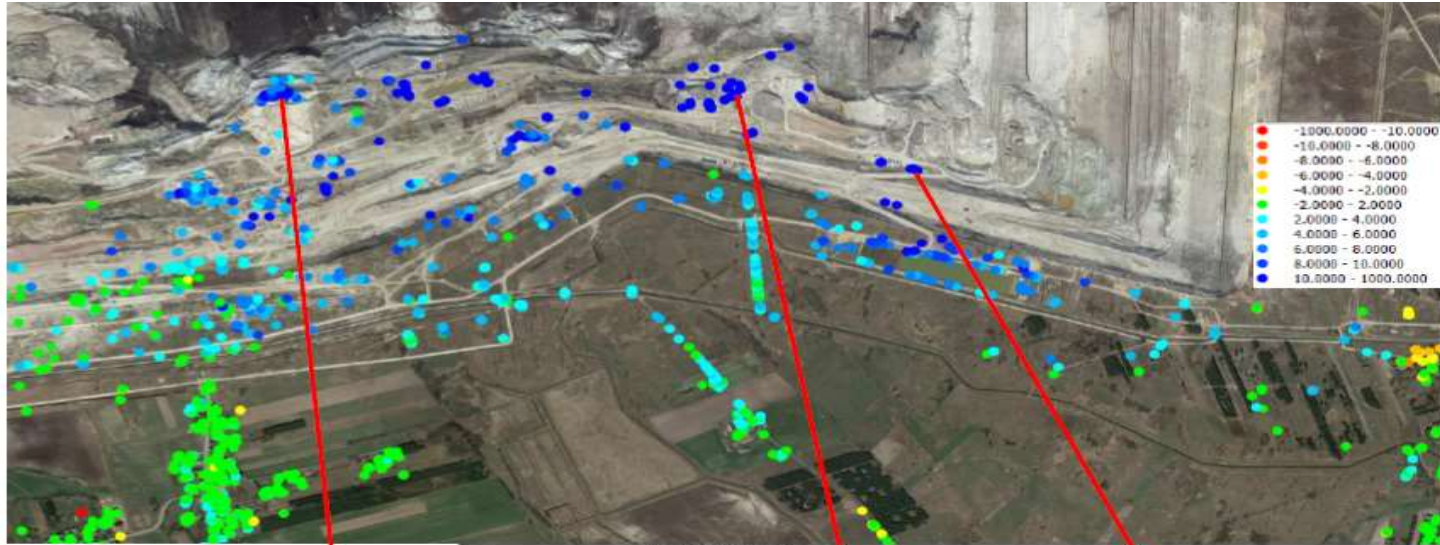
Największe osiadania
A-2 zwał zewn. Szczerców
do 60 mm/rok

A11- zbocze S Belchatów
19-24 mm/rok

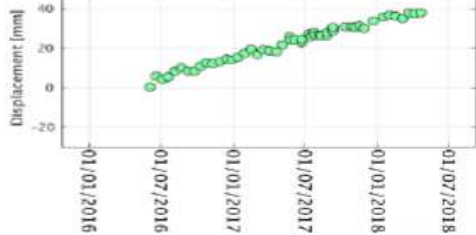
A7 zwałowisko wew. Belch.
A9 składowisko popiołów

A4 W rejonie monit. in-situ
9,5 do 10 mm/rok

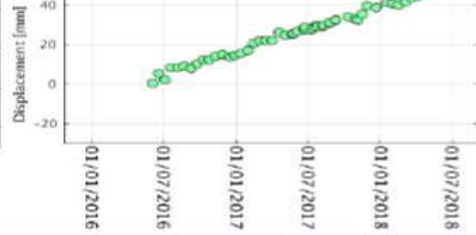
Pomiary PSI



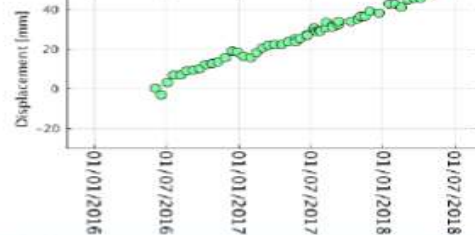
PS=L09949P07900
AvgVel=19.0[mm/y] Hei(EIL)=145.4[m] Coh=0.86



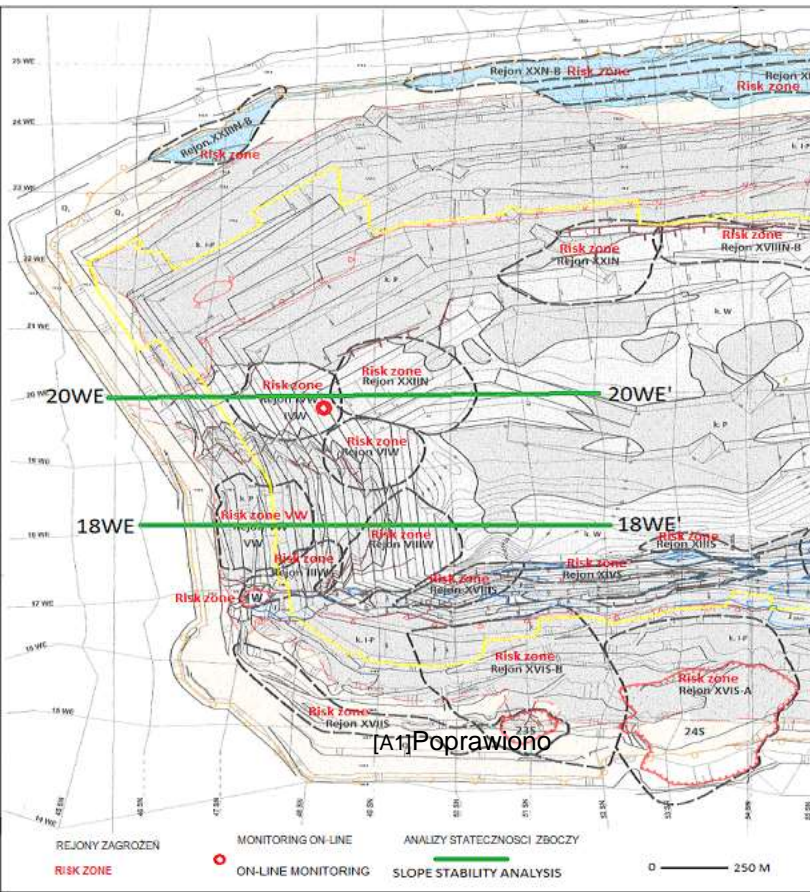
PS=L09835P08428
AvgVel=22.5[mm/y] Hei(EIL)=180.5[m] Coh=0.86



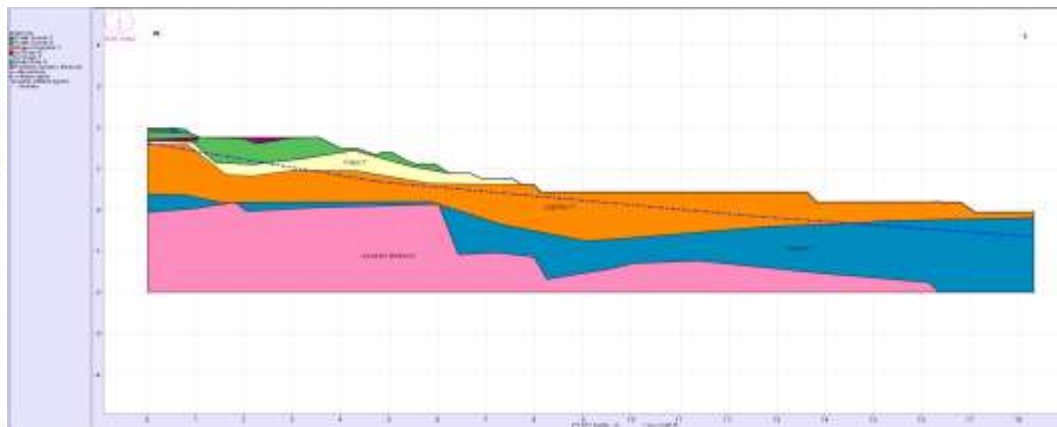
PS=L09690P08616
AvgVel=23.5[mm/y] Hei(EIL)=185.8[m] Coh=0.85



Analizy stateczności – lokalizacja i parametry



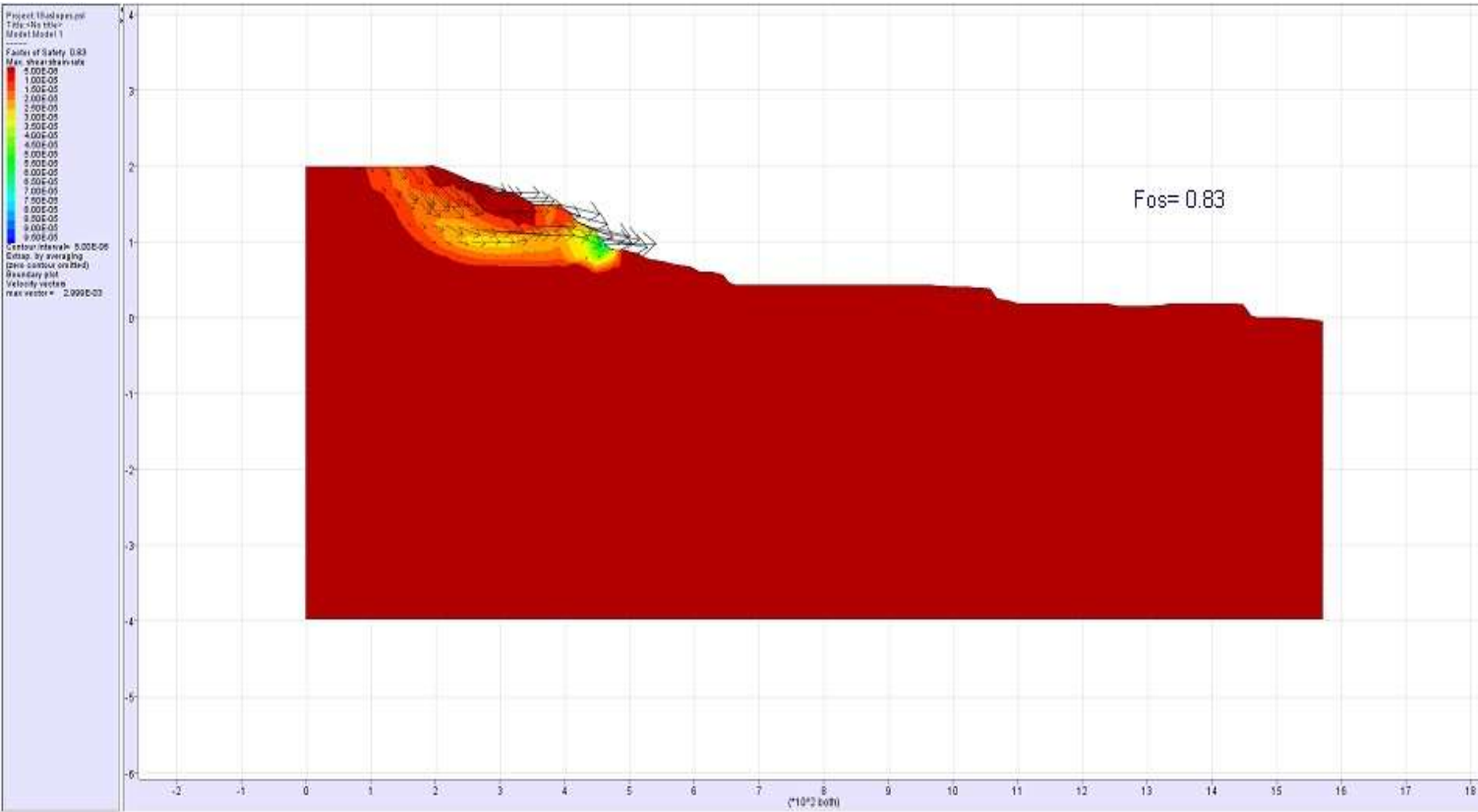
Nr No	Typ gruntów / skał Soil / rock type	ρ [kN/m ³]	c [kPa]	ϕ [°]
1	Piasek (Q)	18,5	1,0	30,0
2	Gлина звалова (Q)	21,8	40,0	9,2
3	Mulek (Q)	21,3	40,0	15,0
4	Ił (Q)	20,8	80,0	5,3
5	Ił (N)	21,1	89,0	5,8
6	Węgiel brunatny (N)	11,8	170,0	14,8
7	Piasek (N)	19,5	1,0	32,0
8	Podłoże mezozoiczne wapień, margle (M)	25,0	338,0	27,1



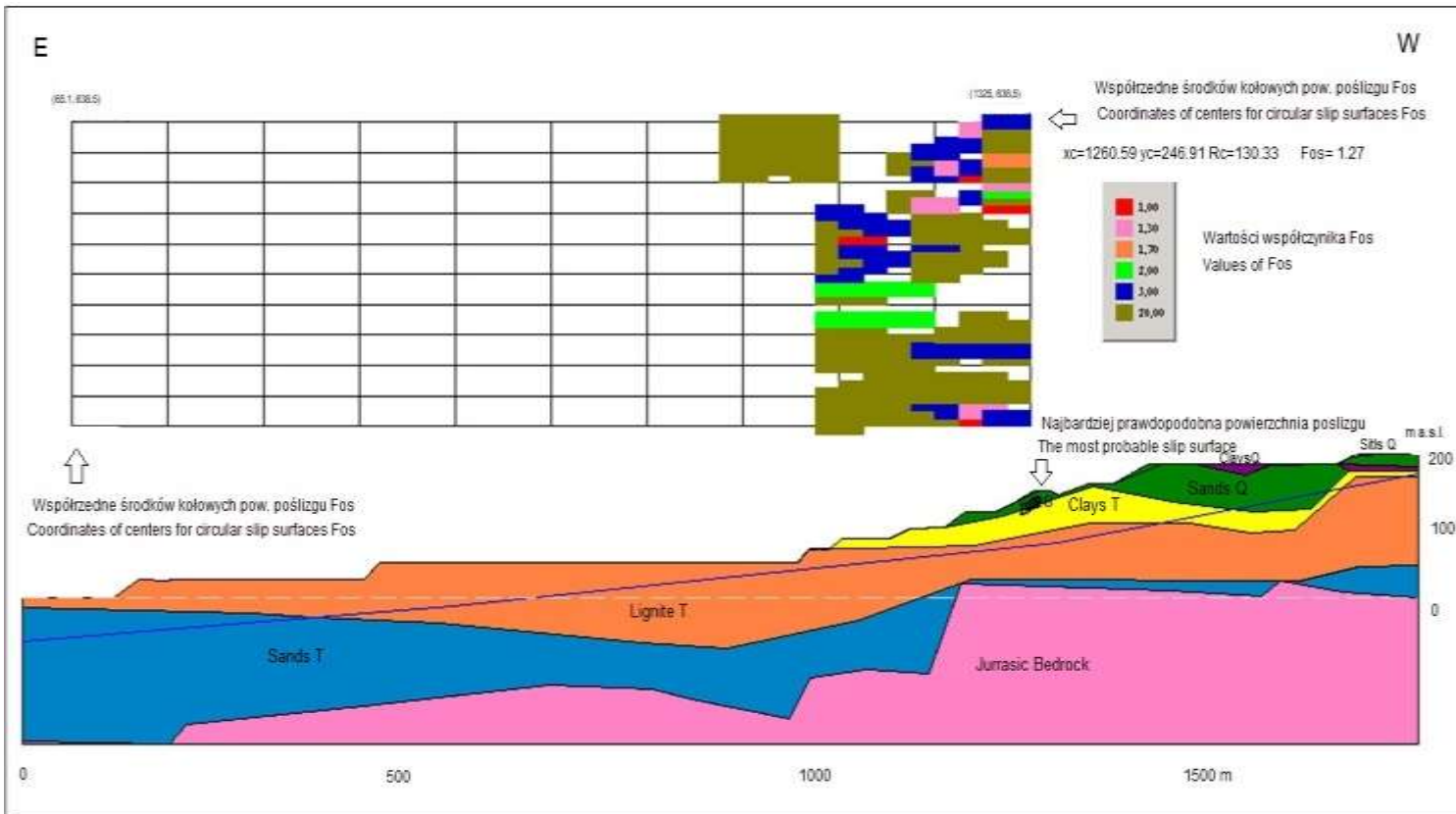
Analizy stateczności SSR



Analizy stateczności SSR



Analizy stateczności LEM



Analizy stateczności

Metoda	Fos 18 WE	Uwagi	Fos 20 WE	Uwagi
SSR	0.83	Środkowa część zbocza	1,14	Środkowa i górna część zbocza
LEM B	1,34	Całe zbocze	1,16	Środkowa część (małe osuw.)
LEM J	1,46	Całe zbocze	1,27	Środkowa część (małe osuw.)



Wnioski

1. Nowo wdrożone w kopalni odkrywkowej węgla brunatnego metody monitoringu dostarczyły dużej ilości nowych danych dotyczących przemieszczeń, ciśnienia porowego oraz zostały wykorzystane w analizach stateczności.
2. Pomiary przemieszczeń in-situ zbocza zachodniego Pola Bełchatów wykryły przemieszczenia o wielkości 350 mm do głębokości 46 m (poziom +40 do - 6 m n.p.m.) w czasie ponad 4 lat (12.2016-02.2021).
3. Na zboczu zachodnim pomiary in-situ i przemieszczenia powierzchniowe występujące w okresie pierwszego roku pomiarów wykazały znaczące różnice. Przemieszczenia określone za pomocą PSI wyniosły 10 mm, LiDAR UAV - 24 mm (przy dokładności pomiarów ok. 2-3 mm). Przemieszczenia wgłębne w tym samym okresie wyniosły 100 mm do głębokości 46 m (dokł. 0,1-0,3 mm). Należy jednak zaznaczyć że przemieszczenia powierzchniowe i wgłębne, chociaż są ze sobą związane, mogą mieć inne wartości. Za pomocą pomiarów przemieszczeń powierzchniowych zazwyczaj nie można określić całkowitej wielkości przemieszczeń wgłębnych. Wszystkie te metody pomiarów mają duży potencjał, jednak powinny być skalibrowane.
4. Pomiary satelitarne PSI określiły przemieszczenia 781206 punktów w siatce 30x30 km. Największe przemieszczenia do 60 mm/rok występowały na zewnętrznym zwałowisku nadkładu Szczerców oraz południowym zboczu Pola Bełchatów. Na badanym zboczu zachodnim wynosiły one 9-10 mm w ciągu 2 lat. Stwierdzone mniejsze wartości przemieszczeń w tym rejonie była prawdopodobnie spowodowane zgodnym z kierunkiem ruchu satelity kierunkiem przemieszczeń (w celu zwiększenia dokładności pomiarów konieczne było by stosowanie specjalnych reflektorów).
5. Porównanie wyników stwierdziło różnice pomiędzy wynikami przemieszczeń powierzchniowych, które dobrze charakteryzują duże obszary, a przemieszczeniami wgłębnymi. Należy jednak podkreślić że przemieszczenia szczególnie dla głębokich osuwisk mogą wykazywać inne wyniki a dla prognozowania zachowania zagrożonych stref osuwiskowych najbardziej dokładne są pomiary przemieszczeń wgłębnych.

Wnioski

6. **Metody inklinometryczne mogą wykryć małe przemieszczenia gruntu wcześniej i dokładniej. Małe przemieszczenia zazwyczaj poprzedzają duże osuwiska na najbardziej zagrożonych obszarach. System ciągłego monitoringu wgłębnego wyposażony w magnetometry umożliwił pomiary znacznie większych wielkości przemieszczeń, sięgających 300 mm. W obszarach o dużych przemieszczeniach liczonych w metrach instalacja monitoringu in-situ może być bezużyteczna i nieefektywna.**
7. **Lepsze możliwości mogą w takim przypadku dawać systemy laserowego skaningu lotniczego. Pozwalają one na stosunkowo szybkie pozyskiwanie różnorodnych danych monitoringowych nawet w warunkach dużych przemieszczeń. Dane te powinny jednak być zawsze starannie kalibrowane z wykorzystaniem standardowych reperów geodezyjnych.**
8. **Wszystkie pomiary lotnicze i satelitarne powinny być ujednolicone w czasie i w miarę możliwości porównywane z inklinometrycznymi pomiarami wgłębnymi. Dokładne porównanie wyników przemieszczeń powierzchniowych wykonanych na podstawie PSI, LiDAR UAV, naziemnego skanowania laserowego oraz monitoringu in-situ napotkało na trudności spowodowane różnymi okresami wykonywanych pomiarów oraz uwarunkowaniami poszczególnych metod.**
9. **Monitoring in-situ sprawdził stateczność zbocza zachodniego. Charakteryzowało się one niskim wskaźnikiem stateczności $Fos = 0,83-1,10$. W pozostałych rejonach kopalni Interferometria PSI pozwoliła na wydzielenie 14 stref osuwiskowych w obszarze całego zakładu górniczego i w obszarach przyległych.**
10. **Wykonane badania mają swoje ograniczenia związane z ich zakresem, przyjętymi okresami badań, różnymi rodzajami przemieszczeń, będących przedmiotem pomiarów, zespołami badawczymi oraz zastosowaną aparaturą badawczą. Część z wykonanych badań miała charakter testowy i powinna być kontynuowana.**

Wnioski

11. Przemieszczenia powierzchniowe interpretowane na podstawie pomiarów PSI różniły się od tych interpretowanych na podstawie pomiarów in-situ, ponieważ mają one ograniczenia związane z ograniczoną widocznością położonych głęboko w odkrywce punktów i kierunkiem ruchu satelity. Ograniczenia dla PSI były szczególnie widoczne na obszarach osuwiskowych, gdzie wielkość przemieszczeń była bardzo duża oraz na zwałowiskach, gdzie morfologia zmieniała się bardzo szybko. Poza tymi ograniczeniami, pomiary PSI były bardzo korzystne dla wczesnego wykrywania inicjacji osuwisk na dużych obszarach.
12. Całkowite wyeliminowanie zagrożeń osuwiskowych w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego nie jest możliwe. Znajomość procesów zachodzących w przeszłości, doświadczenia z wdrażania nowych metod badawczych i duża ilość nowych danych pomiarowych wykonywanych z dużą częstotliwością w ramach projektu Slopes powinny przyczynić się do lepszej identyfikacji zagrożeń i doboru optymalnych środków przeciwdziałania. Na obszarach szczególnie narażonych na osuwiska przydatne może być opracowanie indywidualnych metod zdalnego monitoringu oraz szczegółowych procedur interpretacji wielkości, głębokości i kierunków przemieszczeń. Należy też podkreślić, że prognozowanie występowania osuwisk w polskich kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego jest zazwyczaj bardzo złożone. Wdrożenie przedstawionych metod powinno mieć korzystny wpływ na lepsze poznanie zagrożeń i zwiększenie możliwości wczesnego przeciwdziałania.

Podziękowania

1. **Projekt Slopes RFCR-CT-2015- był finansowany przez Europejski Fundusz Badawczy Węgla i Stali oraz Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, bez których nie była by możliwa jego realizacja.**
2. **Chciałbym także podziękować firmie PGE GIEKSA Oddział w Bełchatowie za udostępnienie terenu badań i pomoc w realizacji projektu oraz partnerom projektu Slopes.**
3. **Szczególne podziękowania należą się koordynatorowi projektu Slopes - Prof. Alec Marshall z Centrum Geomechaniki Uniwersytetu Nottingham (UK) oraz partnerom którzy wykonywali prace w Polsce Camborne School of Mines Uniwersytetu Exeter (UK), Instytutu INERIS (Francja) oraz firmie GAP (spółka Politechniki Bari-Włochy) za wykonanie analiz PSI.**

Dziękuję za uwagę !

