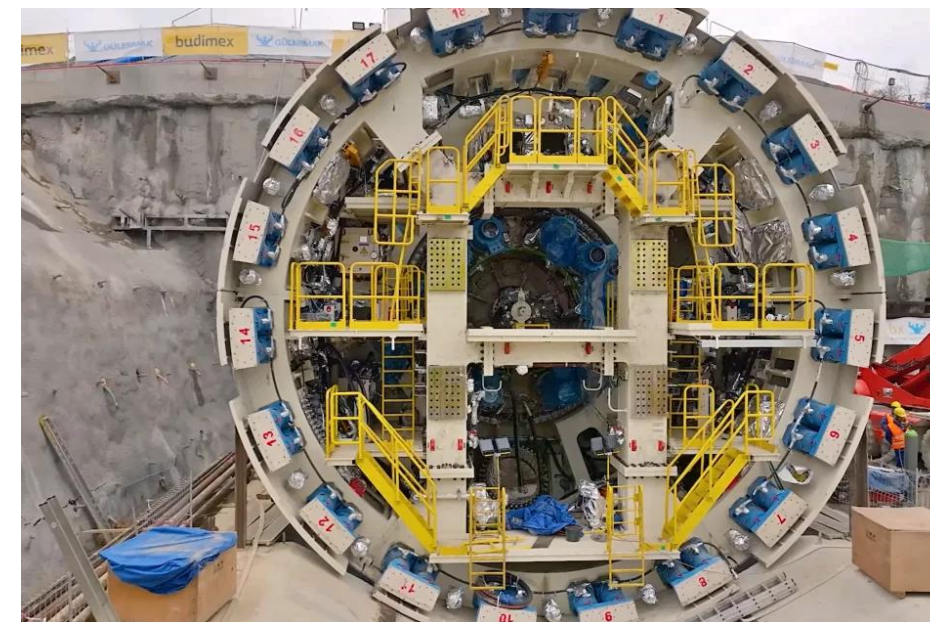




Wydział Geodezji Górniczej
i Inżynierii Środowiska AGH



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE
AGH UNIVERSITY OF KRAKOW



<https://limanowa.in/aktualnosci/kinga-drazy-od-poczatku-maja-powstalo-50-m-tunelu-zdjecia>

Geodezja Górnicza jako dyscyplina wspomagająca proces drążenia tuneli. Prace geodezyjne związane z prowadzeniem maszyny TBM. Monitoring geodezyjny wpływu drążenia tunelu na teren górniczy.

20 LAT **pkd** Polski Kongres Drogowy

VII Międzynarodowe Forum Tunelowe
Rzeszów 20–22 październik 2025

Tomasz Lipecki
Dariusz Tomaszewski

Geodezja Górnicza jako dyscyplina wspomagająca proces drążenia tuneli.

Geodezja górnicza jest nauką zajmującą się zagadnieniami związanymi z projektowaniem i obsługą geodezyjną zakładów górniczych:

- górnictwa podziemnego
- górnictwa otworowego
- górnictwa odkrywkowego
- **budownictwa podziemnego (tunele=zakład!)**

W zakresie działań geodezji górniczej znajdują się następujące zagadnienia:

- orientacja sytuacyjna i wysokościowa wyrobisk podziemnych (**tunel-jest wyrobiskiem**)
- pomiary realizacyjne (w tym zagadnienia przebitkowe, zadawanie kierunków w wyrobiskach)
- inwentaryzacje urządzeń szybowych oraz innych obiektów i urządzeń związanych z bezpieczeństwem ruchu
- pomiary deformacji terenu górniczego
- aktualizacja dokumentacji mierniczo-geologicznej



GEODEZYJNE PRACE REALIZACYJE DLA BUDOWY TUNELU

ZAŁOŻENIE I ROZBUDOWA GEODEZYJNEJ OSNOWY REALIZACYJNEJ

- Pomiary podstawowe dla wyznaczenia współrzędnych punktów
- Zadawanie kierunków w wyrobiskach tuneli

PRACE POMIAROWE DLA DRAŻENIA ZABUDOWY INFRASTRUKTURY TECHNICZNEJ

- Sterowanie maszynami urabiającymi
- Tyczenie zakładania elementów obudowy
- Tyczenie osi urządzeń infrastruktury technicznej
- Prowadzenie pomiarów i analiz dla przebitek

KONTROLNE POMIARY OSNOWY GEODEZYJNEJ I POMIARY DEFORMACJI

- Badanie stałości punktów nawiązania osnowy
- Kontrolne pomiary przemieszczeń górotworu i obudowy

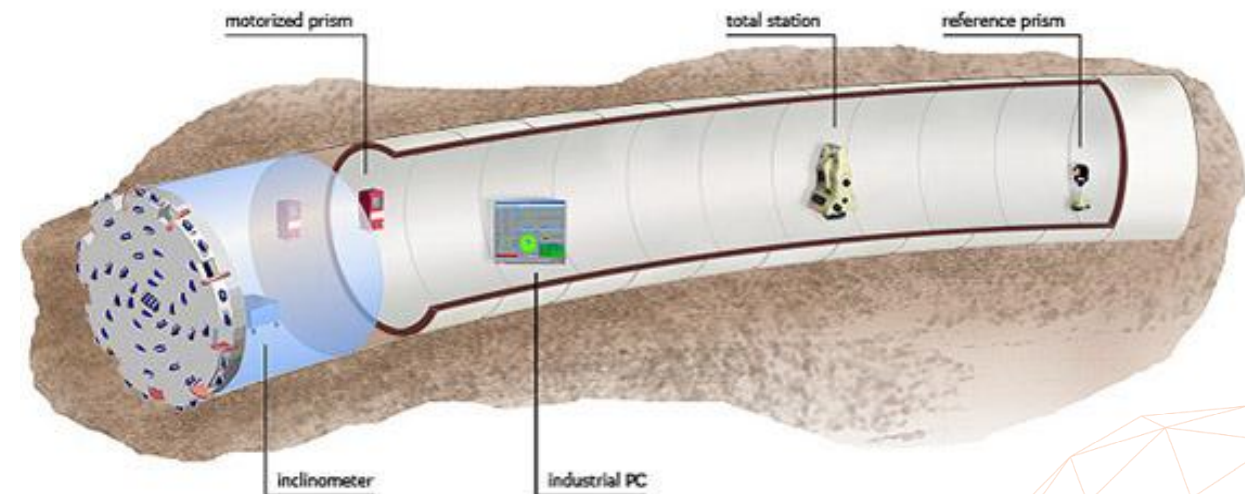


Prace geodezyjne związane z **prowadzeniem maszyny TBM**

System naprowadzania PPS (Poltinger Precision Systems) TBM

System naprowadzania PPS automatycznie określa dokładne położenie i kierunek jazdy maszyny TBM w przestrzeni trójwymiarowej, **w nawiązaniu do podstawowej osnowy tunelowej**, zapewniając operatorowi wszystkie informacje niezbędne do utrzymania maszyny na kursie.

- **W przedniej części** maszyny TBM zainstalowane są **dwa pryzmaty** do pomiaru położenia i kierunku ruchu, a **dwuosiowy inklinometr** mierzy przechył boczny i nachylenie.
- **Pryzmaty są stale monitorowane** przez **montowany na ścianie teodolit**, który automatycznie odwołuje się do systemu w oparciu o ustalone współrzędne.
- Teodolit, który może być umieszczony w odległości max 100m za tarczą TBM, odnosi się do **wstecznego pryzmatu** i powiadamia operatora o każdym ruchu.
- **Odchylenie poziome i pionowe** oraz orientacja maszyny TBM są **prezentowane operatorowi graficznie**. Wyświetlana jest ścieżka przebiegu aby naprowadzić maszynę TBM z powrotem na projektowaną linię drążenia.



Czym jest tolerancja a czym błąd średni pomiaru?

Tolerancja (T) → to maksymalne dopuszczalne odchylenie danej wielkości pomiarowej od wartości projektowanej.

- Opisuje wymagania dopuszczalne dla pomiaru
- Ma charakter normatywny, projektowy
- Pochodzi z przepisów lub założeń projektowych
- Ustalana w celu zgodności z wymaganiami

Błąd średni pomiaru (m_{sr}) → **miara dokładności** pomiaru.
Określa przeciętną wartość odchylenia wyników pomiarów od wartości oczekiwanej.

- Opisuje **dokładność** wykonanego pomiaru
- Ma charakter statystyczny i wynikowy
- Pochodzi z obliczeń na podstawie danych
- Obliczany w celu oceny **precyzji** i niepewności

Założenie rozkładu normalnego błędów pomiarowych.

W geodezji zakłada się, że **błędy przypadkowe mają rozkład normalny (Gaussa)** – rozłożone są w **charakterystyczny** sposób wokół wartości średniej.

W takim rozkładzie:

- **68,3%** pomiarów mieści się w zakresie $\pm 1\sigma$ (czyli $\pm 1 \times$ błąd średni)
- **95,4%** w zakresie $\pm 2\sigma$
- **99,7%** w zakresie $\pm 3\sigma$

Zatem **jeśli uznamy, że pomiary mają być prawie zawsze (w 99,7% przypadków) wewnątrz tolerancji (T)**

to oznacza to że

$$T = 3 * m_{\text{śr}} \Rightarrow m_{\text{śr}} = \frac{T}{3}$$

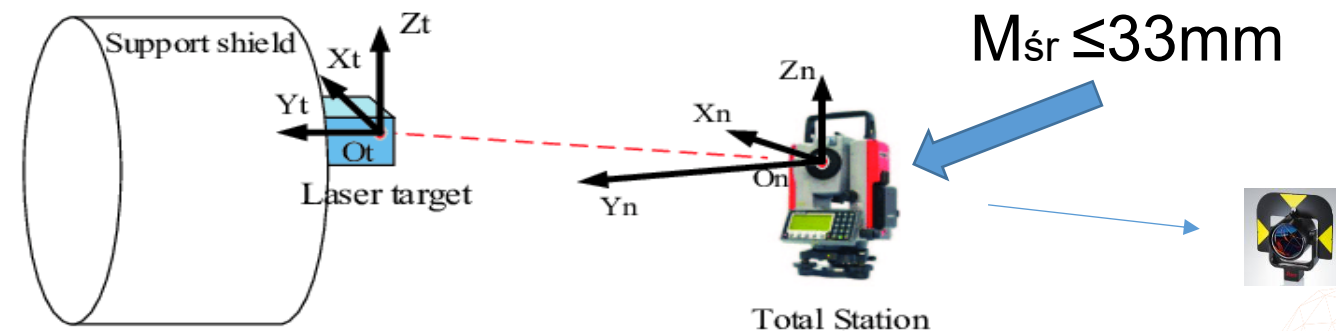
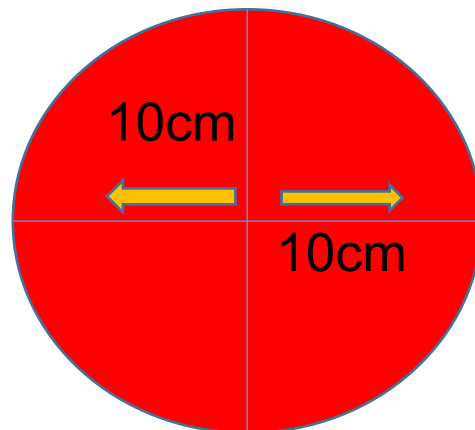
Precyzja i dokładność dla prowadzenia maszyny do drążenia tuneli (TBM) **jest podstawowym kryterium jakości pracy.**

Projekt zakłada:

- Zmiana położenia tarczy nie może być większa niż 10 cm w stosunku do osi projektowanej tunelu.
- Geodezyjne sprawdzenie, obejmuje promień maksymalnej odchyłki=10cm (tolerancja T)
- Tolerancja zawiera wszystkie dopuszczalne odchyłki (wyrównanie, realizacja i deformacja segmentów).

Dlatego: dopuszczalna tolerancja T w stosunku do osi teoretycznej wynosi 10 cm na promieniu.

Czyli: $T/3 \Rightarrow m_{sr} \leq \pm 33\text{mm}$!!! w najniekorzystniejszym położeniu poprzecznym (więc również na końcu drążenia)



https://www.researchgate.net/figure/The-schematic-for-measuring-translation-matrix-T-n-t_fig2_356516308

Elementy systemu naprowadzania (PPS) tarczy TBM



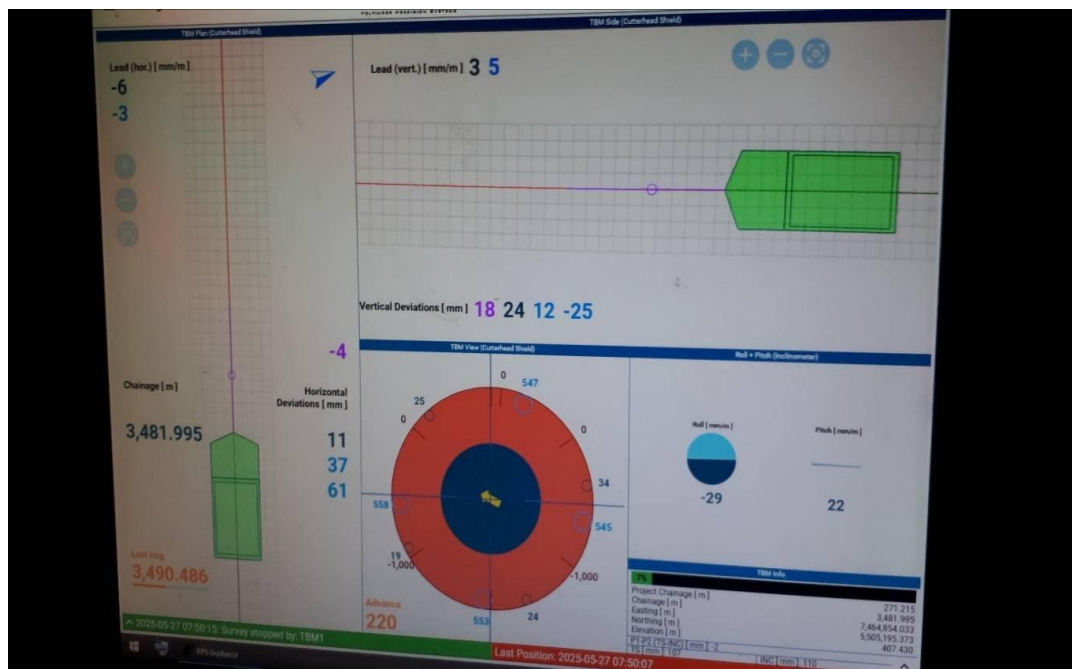
Pryzmat kierunkowy



Tachimetr prowadzący



2 niewspółosiowe pryzmaty zamontowane na tarczy TBM, z przesunięciem odległości



Panel sterujący

Warszawa, dnia 24 listopada 2015 r.

Poz. 1941

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA¹⁾

z dnia 28 października 2015 r.

w sprawie dokumentacji mierniczo-geologicznej²⁾

Na podstawie art. 116 ust. 7 ustawy z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. z 2015 r. poz. 196, 1272 i 1505) zarządza się, co następuje:

Osnowa podstawowa

3.14.2. Pomiar poziomej podstawowej osnowy geodezyjnej wykonuje się na podstawie, sporządzonego przez mierniczego górniczego, projektu zawierającego wstępną analizę dokładności oraz uzasadnienie wyboru metody pomiaru.

3.14.4. Nawiązanie pomiarów geodezyjnych do poziomej podstawowej osnowy geodezyjnej (orientacja pozioma) wykonuje się do punktów osnowy geodezyjnej na powierzchni metodą orientacji wliczeniowej lub giroskopowej.

3.14.7. Pomiary kątów, giroazymutów i długości na powierzchni oraz na orientowanym poziomie wykonuje się dwukrotnie w sposób niezależny, stosując podczas pomiaru kątów podwójne centrowanie instrumentu.

3.14.8. Długości boków podstawowej osnowy geodezyjnej są większe niż 100 m.

3.14.10. Długość ciągu poligonowego poziomej podstawowej osnowy geodezyjnej nie może być większa niż:

- 1) 8 000 m — dla ciągu wliczeniowego z giroazymutem pomierzonym w środku;
- 2) 3 000 m — dla ciągu jednostronnie nawiązanego (wiszącego) z giroazymutem pomierzonym na ostatnim boku.

Prace na zbiecie

4.2.4. W przypadku geodezyjnych pomiarów realizacyjnych wykonywanych dla realizacji celów przebitkowych mierniczy górniczy:

- 1) uzgadnia dokładność zbiecia wyrobisk górniczych z kierownikiem ruchu zakładu górniczego albo zakładu prowadzącego działalność określoną w art. 2 ust. 1 ustawy;
- 2) przeprowadza, przed przystąpieniem do pomiarów, wstępną analizę dokładności w oparciu o projekt techniczny i warunki techniczne, w celu ustalenia metod pomiarowych zapewniających wymaganą dokładność zbiecia wyrobisk górniczych;
- 3) opracowuje mierniczy projekt zbiecia wyrobisk górniczych.

TOLERANCJA I DOKŁADNOŚĆ!!!!

4.2.5. Po zakończeniu robót przebitkowych, łączy się pomiarami osnowę geodezyjną, ustala rzeczywistą dokładność zbiecia oraz wyrównuje poziomą osnowę geodezyjną i wysokościową osnowę geodezyjną.

Co to jest ten **giroazymut**?

- **Jest to azymut geograficzny a nie magnetyczny!**
- Pozwala określić **prawdziwą wartość kąta względem osi Ziemi** a potem przeliczyć na azymut topograficzny stosowany na mapach (np. w układzie 2000 stosowanym w Polsce)
- Azymuty topograficzne boków oblicza się z giroazymutów według wzoru :

$$A_{TG} = G_{\acute{S}R} + D_T + D_g$$

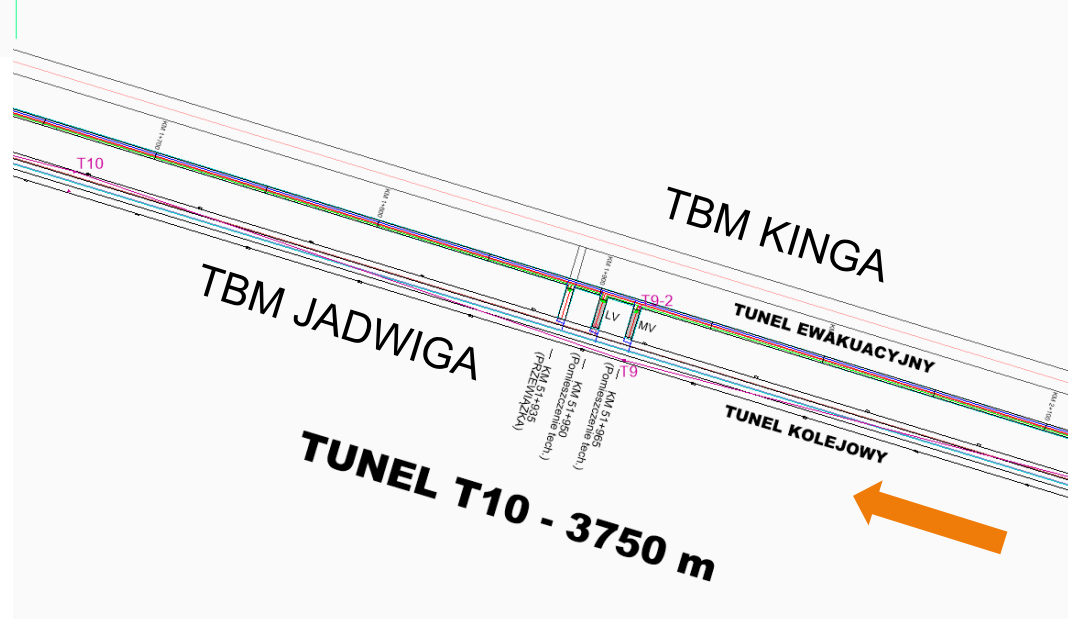
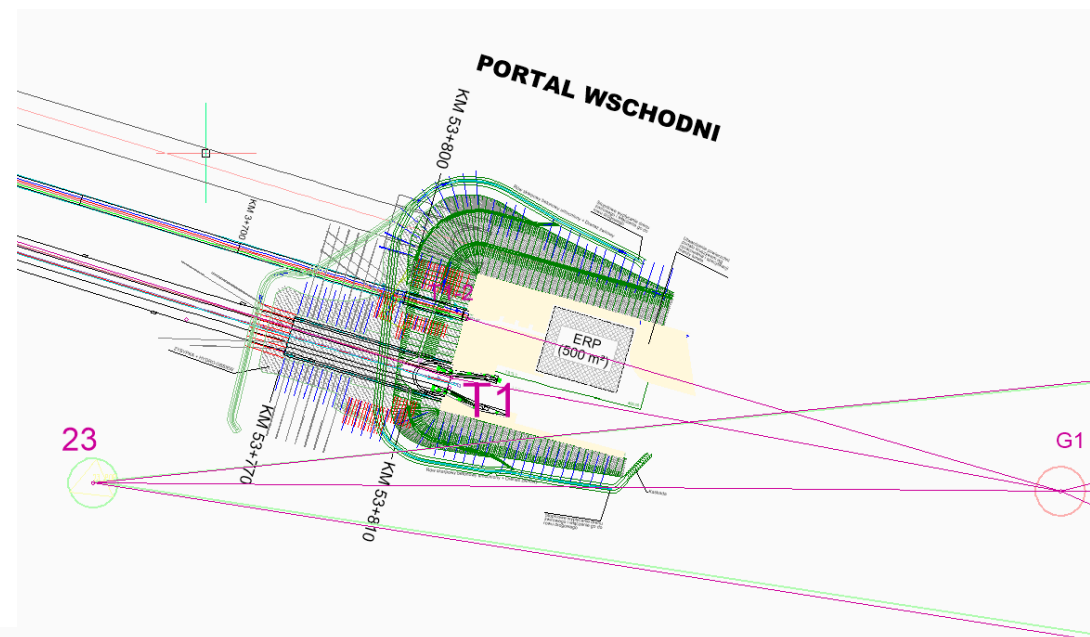
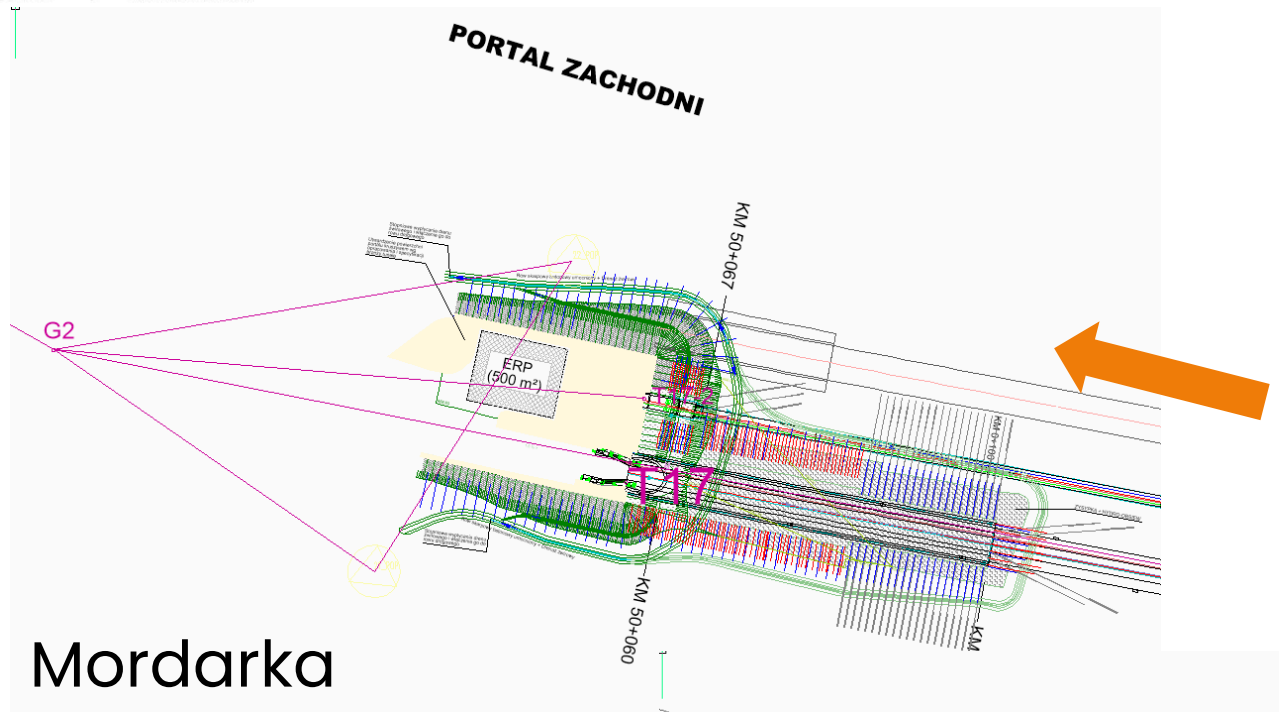
gdzie:

- $G_{\acute{S}R}$ – średnia wartość pomierzonego giroazymutu boku,
- D_T – poprawka topograficzna, na podstawie której przechodzi się z giroazymutów na azymuty w układzie współrzędnych topograficznych, wynika z tego, że musi być też pomierzony bok bazowy mający bardzo precyzyjne współrzędne w tym układzie,
- D_g – poprawka do giroazymutów wynikająca ze zbieżności południków na stanowisku giroteodolitu (w tunelu) względem boku bazowego (na powierzchni).



Charakterystyka osnowy tunelu:

Męcina



Założenia podstawowej osnowy tunelowej (POT)

- Zaprojektowany układ punktów **Zewnętrznej Osnowy Tunelowej (ZOT)** w przybliżeniu zapewni wyznaczenie współrzędnych punktu startowego POT **w środku ciężkości figury wyznaczonej przez te punkty.**
- **Pomiar punktów ZOT** nastąpi metodami **GNSS** w nawiązaniu do ASG-EUPOS oraz **klasycznymi pomiarami kątowno-liniowymi.**
- **Punkty ZOT** założone na wcześniejszym etapie budowy **zostaną objęte pomiarem** i przyjęte do wyrównania z założoną **błędnością $\pm 2\text{mm}$**

Sieć wewnętrzna założona zostanie w oparciu zaproponowany układ **punktów sieci zewnętrznej** i będzie rozwijana wraz z postępem drążenia tunelu.

Po analizach wstępnych przyjęto:

- punkty POT co ok. 240 m naprzemiennie przy ociosach tunelu,
- lokalizacja punktów: T1 – portal wschodni, T17 – portal zachodni,
- błąd średni współrzędnych sytuacyjnych ma wynosić do $\pm 10\text{mm/km}$ tunelu, w pionie: $\pm 2\text{ mm/km}$ tunelu.

Punkty POT będą służyły do aktualizacji współrzędnych osnowy realizacyjnej służącej do bieżącego wyznaczania kierunku drążenia przez TBM.

I wariant (z 8)

Wyrównanie: błąd kąta $\pm 5''$, bł. pomiaru długości $\pm(0,8\text{mm}+1\text{ppm})$, błędy punktów nawiazania $m_x=\pm 2\text{ mm}$ $m_y=\pm 2\text{ mm}$,

WSTĘPNA ANALIZA DOKŁADNOŚCI SIECI SYTUACYJNEJ

Parametry sieci: dane pochodzą ze zbioru: tunel.txt

ilość stałych punktów nawiazania : 0
ilość punktów nawiazania z błędnością: 3
ilość punktów wyrównywanych : 18
ilość stanowisk kierunkowych : 0
ilość łączna obserwacji : 83
w tym: katów : 41, długości : 42
azymutów : 0, kierunków: 0
ilość obserwacji nadliczbowych : 47

Punkty nawiazania:

Nr pkt	X [m]	Y [m]	m_x [mm]	m_y [mm]
z błędnością:				
25POP	7465463.9899	5504990.5854	2.0	2.0
24POP	7465540.9596	5505113.8889	2.0	2.0
23POP	7465018.6733	5505060.6644	2.0	2.0

Sumaryczna_długość boków = 10.181 [km] z ewentualnym dublowaniem boków
Przed wyrównaniem: przeciętny maksymalny minimalny nr_obs.max nr_obs.min
-błąd pomiaru kąta [cc] 5.0 5.0 5.0 1 1
-błąd pomiaru dług. [mm] 1.0 1.3 0.9 43 45
-długość boków w [m] 242.4 525.0 145.4 43 45

ZESTAWIENIE OBLICZONYCH ze współrzędnych AZYMUTÓW i ich błędów średnich po wyrównaniu

dla boków o pomierzonych długościach

Punkt	Punkt	Azymut (g)	błąd (cc)	Punkt	Punkt	Azymut (g)	błąd (cc)
23POP	G1	399.4576	3.5 *	23POP	24POP	6.4653	3.1 *
24POP	G1	215.1853	3.9 *	24POP	25POP	264.4737	4.4 *
25POP	G1	173.3951	4.0 *	25POP	23POP	190.0631	3.2 *
G1	23POP	199.4576	3.5 *	G1	24POP	15.1853	3.9 *
G1	25POP	373.3951	4.0 *	G1	T1	188.3289	4.3 *
T1	G1	388.3289	4.3 *	T1	T2	180.6404	5.6 *
T2	T1	380.6404	5.6 *	T2	T3	181.1821	6.6 *
T3	T2	381.1821	6.6 *	T3	T4	181.2379	7.5 *
T4	T3	381.2379	7.5 *	T4	T5	181.2046	8.3 *
T5	T4	381.2046	8.3 *	T5	T6	181.1840	9.0 *
T6	T5	381.1840	9.0 *	T6	T7	181.2174	9.7 *
T7	T6	381.2174	9.7 *	T7	T8	181.2053	10.3 *
T8	T7	381.2053	10.3 *	T8	T9	181.1961	10.9 *
T9	T8	381.1961	10.9 *	T9	T10	181.2182	11.5 *
T10	T9	381.2182	11.5 *	T10	T11	181.2225	12.0 *
T11	T10	381.2225	12.0 *	T11	T12	181.1938	13.0 *
T12	T11	381.1938	13.0 *	T12	T13	181.2134	13.4 *
T13	T12	381.2134	13.4 *	T13	T14	181.2037	13.9 *
T14	T13	381.2037	13.9 *	T14	T15	181.2619	14.3 *
T15	T14	381.2619	14.3 *	T15	T16	182.9062	14.7 *
T16	T15	382.9062	14.7 *	T16	T17	188.3671	15.2 *

CHARAKTERYSTYKA dokładnościowa sieci po wyrównaniu:

Cecha wielkości (bezwzględnie-dla przeciętnych)	Maksimum mm lub cc	Minimum mm lub cc	Przec.bezwgł. mm lub cc	Nr dla max. pkt/obser	Nr dla min. pkt/obser
błąd średni azymutu po wyrówn.	15.2	3.1	9.0	42	2
błąd średni położenia punktu	58.1	1.8	24.7	T17	G1

LICZEBNOŚĆ w % grup wydzielonych przedziałów błędów średnich położenia punktów w [mm]:
[mm] [mm] [mm] [mm] [mm]
- błędy od-do 1. - 15. 15. - 29. 29. - 43. 43. - 57. 57. - 71.
- ilość pkt 33. % 19. % 14. % 14. % 5. %

LICZEBNOŚĆ punktów i boków w danym typie osnowy kopanej:
osnowa podstawowa szczegółowa pomiarowa poza_osnowa
I1. Punktów: 18 0 0 0
% Punktów: 85.7% 0.0% 0.0% 0.0%
I1. Azymutów: 42 0 0 0
% Azymutów: 100.0% 0.0% 0.0% 0.0%

ZESTAWIENIE współ. projektowanych punktów i wyznaczonych BŁĘDÓW ŚREDNICH

Nazwa punktu	X [m]	Y [m]	Mx [mm]	My [mm]	Mp [mm]	Elipsa błędu średniego A [mm]	B [mm]	FI [gon]
25POP	7465463.9899	5504990.5854	1.3	1.4	1.9	1.4	1.2	71.29
24POP	7465540.9596	5505113.8889	1.3	1.6	2.0	1.6	1.2	118.78
23POP	7465018.6733	5505060.6644	1.2	2.0	2.3	2.0	1.2	98.83
G1	7465311.8016	5505058.1671	1.2	1.3	1.8	1.3	1.2	101.13
T1	7465128.4672	5505092.1593	1.4	2.0	2.5	2.0	1.4	91.01
T2	7464893.5000	5505165.9000	1.8	3.6	4.0	3.7	1.6	84.42
T3	7464670.0600	5505233.9400	2.3	5.6	6.0	5.8	1.8	82.94
T4	7464445.5541	5505302.0897	2.9	7.9	8.4	8.2	1.9	82.31
T5	7464221.6000	5505370.2000	3.6	10.4	11.0	10.8	2.0	81.97
T6	7463997.3738	5505438.4722	4.4	13.1	13.8	13.7	2.2	81.77
T7	7463773.2000	5505506.6000	5.3	16.1	16.9	16.8	2.3	81.64
T8	7463563.7295	5505570.3028	6.1	19.0	20.0	19.8	2.4	81.55
T9	7463353.4000	5505634.3000	7.0	22.1	23.2	23.1	2.5	81.49
T10	7463114.5466	5505706.8857	8.2	25.9	27.1	27.0	2.6	81.44
T11	7462876.2000	5505779.3000	9.3	29.8	31.2	31.1	2.7	81.40
T12	7462652.0749	5505847.5038	10.5	33.6	35.2	35.1	2.8	81.37
T13	7462427.6094	5505915.7358	11.7	37.6	39.4	39.3	2.9	81.35
T14	7462203.2952	5505983.9588	13.0	41.8	43.8	43.7	3.0	81.33
T15	7461979.0516	5506051.9367	14.3	46.2	48.3	48.2	3.1	81.32
T16	7461756.4000	5506113.2000	15.5	50.7	53.0	52.9	3.2	81.46
T17	7461511.0845	5506158.5318	16.4	55.7	58.1	58.0	3.4	82.08

* -osn.podst, ** -osn.szczeg, *** - osn.pomiarowa kopal., brak* - poza osnowa kopaln
Kryteria podziału osnowy wg rozporządzenia MG z dn. 28.06.2002 roku

Przyjęty błąd jednostkowy $M_0 = 1.0000000$
Ilość obserwacji nadliczbowych : 47

Współczynnik "C" dla 95% elipsy błędu wynosi: 2.52787

NIE SPEŁNIA WARUNKÓW znacznie!
A > 33 mm

Wariant V – optymalny

Wyrównanie: błąd kąta $\pm 3''$ (kierunku $\pm 1.5''$), bł. pomiaru długości $\pm (0,8\text{mm} + 1\text{ppm})$, błędy punktów nawiazania $m_x = \pm 2\text{ mm}$ $m_y = \pm 2\text{ mm}$, 3 giroazymuty (0 km, 1,2 km i 2,8 km) z bł. kierunku $\pm 10''$

WSTĘPNA ANALIZA DOKŁADNOŚCI SIECI SYTUACYJNEJ

Parametry sieci: dane pochodzą ze zbioru: tu0c0b-1.txt

ilość stałych punktów nawiazania	:	0
ilość punktów nawiazania z błędnością	:	3
ilość punktów wyrównywanych	:	18
ilość stanowisk kierunków	:	0
ilość łączna obserwacji	:	86
w tym: katów	:	41,
azymutów	:	3,
ilość obserwacji nadliczbowych	:	50
długości	:	42
kierunków	:	0

Punkty nawiazania:

z błędnością:	Nr pkt	X {m}	Y {m}	Mx{mm}	My{mm}
	25POP	7465463.9899	5504990.5854	2.0	2.0
	24POP	7465540.9596	5505113.8889	2.0	2.0
	23POP	7465018.6733	5505060.6644	2.0	2.0

Sumaryczna_dlugosc_bokow =	10.185 [km]	z ewentualnym dublowaniem bokow			
Przed wyrównaniem:	przecietny	maksymalny	minimalny	nr_obs.max	nr_obs.min
-blad pom. azymutu [cc]	10.0	10.0	10.0	1	1
-blad pomiaru kata [cc]	3.0	3.0	3.0	4	4
-blad pomiaru dlug. [mm]	1.0	1.3	0.9	46	48
-dlugosc bokow w [m]	242.5	525.0	145.4	46	48

ZESTAWIENIE OBLICZONYCH ze współrzędnych AZYMUTOW i ich błędów średnich po wyrównaniu

dla boków o pomierzonych długościach

Punkt	Punkt	Azymut (g)	błąd (cc)	Punkt	Punkt	Azymut (g)	błąd (cc)
23POP	G1	399.4576	3.0 *	23POP	24POP	6.4653	2.9 *
24POP	G1	215.1853	3.2 *	24POP	25POP	264.4737	3.6 *
25POP	G1	173.3951	3.3 *	25POP	23POP	190.0631	2.9 *
G1	23POP	199.4576	3.0 *	G1	24POP	15.1853	3.2 *
G1	25POP	373.3951	3.3 *	G1	T1	188.3289	3.3 *
T1	G1	388.3289	3.3 *	T1	T2	180.6404	3.7 *
T2	T1	380.6404	3.7 *	T2	T3	183.5564	4.1 *
T3	T2	383.5564	4.1 *	T3	T4	178.8791	4.3 *
T4	T3	378.8791	4.3 *	T4	T5	183.5473	4.6 *
T5	T4	383.5473	4.6 *	T5	T6	178.8487	4.7 *
T6	T5	378.8487	4.7 *	T6	T7	183.5718	4.8 *
T7	T6	383.5718	4.8 *	T7	T8	178.6864	5.1 *
T8	T7	378.6864	5.1 *	T8	T9	183.7259	5.3 *
T9	T8	383.7259	5.3 *	T9	T10	178.9929	5.6 *
T10	T9	378.9929	5.6 *	T10	T11	183.4305	5.7 *
T11	T10	383.4305	5.7 *	T11	T12	178.8484	5.9 *
T12	T11	378.8484	5.9 *	T12	T13	183.5647	6.0 *
T13	T12	383.5647	6.0 *	T13	T14	178.8514	6.1 *
T14	T13	378.8514	6.1 *	T14	T15	183.5759	6.5 *
T15	T14	383.5759	6.5 *	T15	T16	180.5590	6.8 *
T16	T15	380.5590	6.8 *	T16	T17	188.3671	7.1 *

CHARAKTERYSTYKA dokładnościowa sieci po wyrównaniu:

Cecha wielkości (bezwzględnie-dla przeciętnych)	Maksimum mm lub cc	Minimum mm lub cc	Przec.bezwg mm lub cc	Nr dla max. pkt/obser	Nr dla min. pkt/obser
błąd średni azymutu po wyrówn.	7.1	2.9	4.8	42	2
błąd średni położenia punktu	27.4	1.7	12.9	T17	G1

LICZEBNOŚĆ w % grup wydzielonych przedziałów błędów średnich położenia punktów w [mm]:	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
- błędy od-do	1.- 7.	7.- 13.	13.- 19.	19.- 25.	25.- 31.		
- ilość pkt	24. %	24. %	14. %	14. %	10. %		

LICZEBNOŚĆ punktów i boków w danym typie osnowy kopanianej:	osnowa podstawowa	szczegółowa	pomiarowa	poza_osnowa
1. Punktów:	18	0	0	0
% Punktów:	85.7%	0.0%	0.0%	0.0%
1. Azymutów:	42	0	0	0
% Azymutów:	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%

ZESTAWIENIE współ. projektowanych punktów i wyznaczonych BŁĘDÓW ŚREDNICH

Nazwa punktu	WSPÓŁRZĘDNE X [m]	WSPÓŁRZĘDNE Y [m]	Błędy średnie Mx [mm]	Błędy średnie My [mm]	Błędy średnie Mp [mm]	Elipsa błędu średniego A [mm]	Elipsa błędu średniego B [mm]	Elipsa błędu średniego FI [gon]
25POP	7465463.9899	5504990.5854	1.2	1.3	1.8	1.3	1.2	67.15
24POP	7465540.9596	5505113.8889	1.2	1.5	1.9	1.5	1.2	117.53
23POP	7465018.6733	5505060.6644	1.2	1.8	2.2	1.8	1.2	98.91
G1	7465311.8016	5505058.1671	1.2	1.2	1.7	1.2	1.2	122.19 *
T1	7465128.4672	5505092.1593	1.4	1.7	2.2	1.7	1.4	90.46 *
T2	7464893.5000	5505165.9000	1.7	2.7	3.2	2.7	1.6	84.46 *
T3	7464667.7600	5505225.5400	2.0	3.9	4.4	4.0	1.8	84.01 *
T4	7464445.5541	5505302.0897	2.3	5.2	5.7	5.3	1.9	82.52 *
T5	7464219.3000	5505361.9000	2.7	6.5	7.0	6.7	2.0	82.69 *
T6	7463997.3738	5505438.4722	3.1	7.9	8.4	8.2	2.2	81.94 *
T7	7463770.7000	5505498.3000	3.4	9.3	9.9	9.6	2.3	82.16 *
T8	7463563.7295	5505570.3028	3.9	10.6	11.3	11.0	2.4	81.68 *
T9	7463351.0000	5505625.9000	4.2	12.0	12.7	12.5	2.5	81.90 *
T10	7463114.5466	5505706.8857	4.8	13.7	14.5	14.2	2.6	81.52 *
T11	7462873.8000	5505771.0000	5.2	15.4	16.2	16.0	2.7	81.72 *
T12	7462652.0749	5505847.5038	5.8	17.0	18.0	17.7	2.8	81.43 *
T13	7462425.1094	5505907.4358	6.2	18.7	19.7	19.5	2.9	81.61 *
T14	7462203.2952	5505983.9588	6.8	20.4	21.5	21.2	3.0	81.37 *
T15	7461976.7516	5506043.7367	7.2	22.2	23.3	23.1	3.1	81.54 *
T16	7461756.4000	5506113.2000	7.8	24.0	25.3	25.0	3.2	81.46 *
T17	7461511.0845	5506158.5318	8.2	26.2	27.4	27.2	3.3	82.03 *

* - osn.podst, ** - osn.szczeg, *** - osn.pomiarowa kopal., brak* - poza osnowa kopaln
Kryteria podziału osnowy wg rozporządzenia MG z dn. 28.06.2002 roku

Przyjęty błąd jednostkowy Mo = 1.0000000
Ilość obserwacji nadliczbowych : 50

Współczynnik "C" dla 95% elipsy błędu wynosi: 2.52294

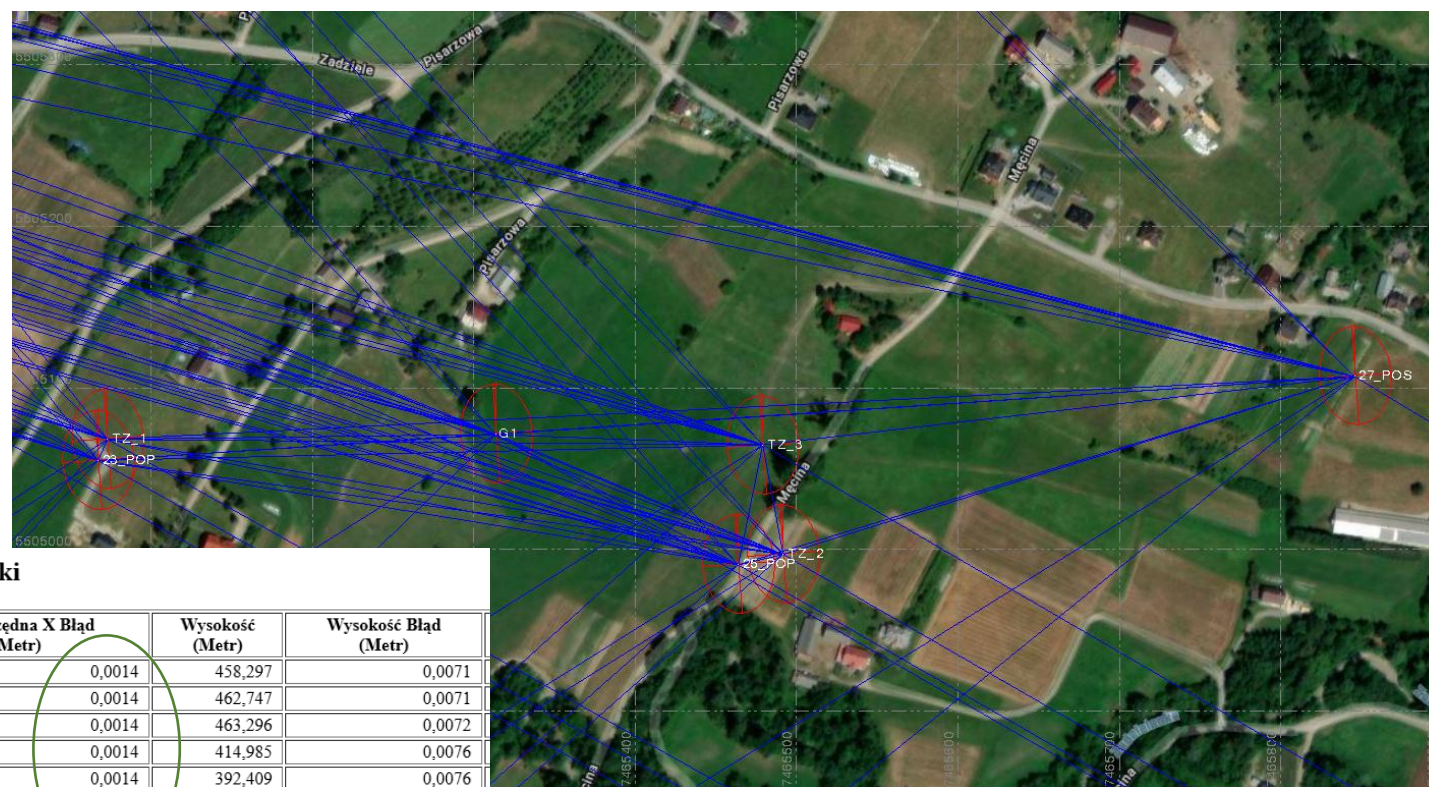
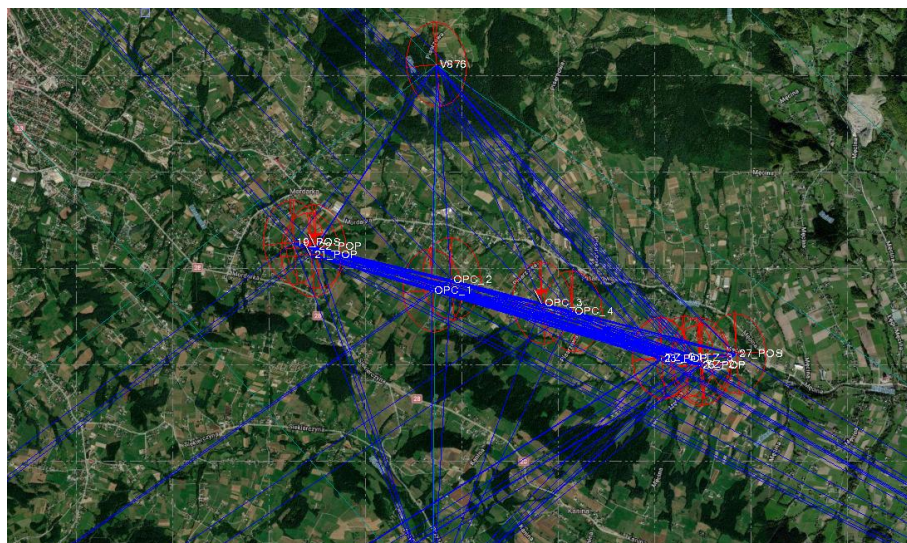
SPEŁNIA WARUNKI OPTYMALNIE (?)

Wariant V

**Wyrównanie: błąd kąta $\pm 3''$ (kierunku $\pm 1.5''$), bł. pomiaru długości $\pm (0,8\text{mm} + 1\text{ppm})$,
błędy punktów nawiazania $m_x = \pm 2\text{ mm}$, $m_y = \pm 2\text{ mm}$
3 giroazymuty (0km, 1,2 km i 2,8 km) z bł. kierunku $\pm 10''$**



Wyznaczenie współrzędnych bazy – sesje statyczne GNSS – dowiązanie do 3 stacji ASG-EUPOS



Wyrównane Współrzędne Siatki

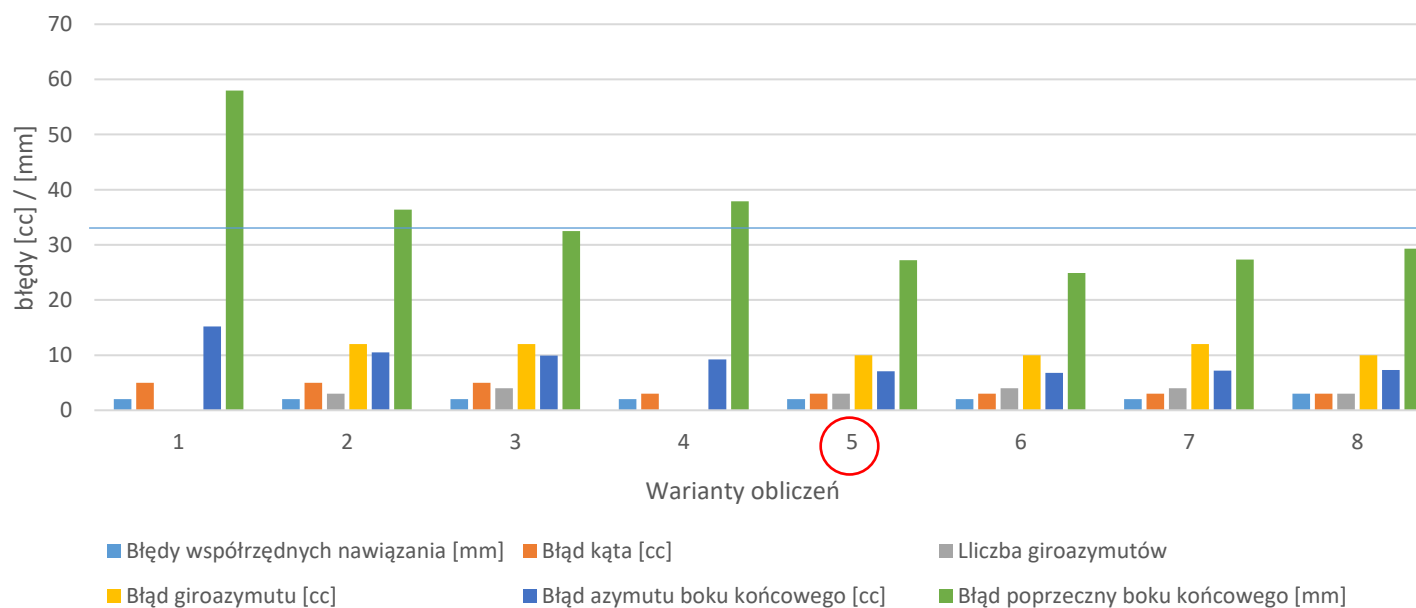
Nazwa punktu	Współrzędna Y (Metr)	Współrzędna Y Błąd (Metr)	Współrzędna X (Metr)	Współrzędna X Błąd (Metr)	Wysokość (Metr)	Wysokość Błąd (Metr)
19_POS	7461252,476	0,0010	5506263,608	0,0014	458,297	0,0071
21_POP	7461432,197	0,0010	5506133,292	0,0014	462,747	0,0071
22_POP	7461479,482	0,0010	5506221,406	0,0014	463,296	0,0072
23_POP	7465067,304	0,0010	5505055,124	0,0014	414,985	0,0076
25_POP	7465463,921	0,0010	5504990,538	0,0014	392,409	0,0076
27_POS	7465845,763	0,0010	5505107,104	0,0014	402,708	0,0077
G1	7465313,676	0,0010	5505071,287	0,0014	399,091	0,0076
KRA1	7422714,346	?	5548331,635	?	227,426	?
NWSC	7477601,991	?	5498029,719	?	296,320	?
NWT1	7430032,789	?	5482834,890	?	614,083	?
OPC_1	7462688,785	0,0010	5505764,364	0,0014	565,088	0,0075
OPC_2	7462886,434	0,0010	5505880,749	0,0014	543,335	0,0074
OPC_3	7463831,065	0,0010	5505637,668	0,0014	485,061	0,0075
OPC_4	7464143,585	0,0010	5505551,183	0,0014	476,981	0,0075
TZ_1	7465073,240	0,0010	5505068,222	0,0014	415,903	0,0076
TZ_2	7465491,787	0,0010	5504997,012	0,0014	392,739	0,0076
TZ_3	7465479,064	0,0010	5505064,769	0,0014	392,910	0,0076
V876	7462736,521	0,0015	5508110,067	0,0021	561,027	0,0106
V877	7462698,287	0,0015	5502549,381	0,0021	560,925	0,0105

Trimble
TBC

Podsumowanie analiz

Warianty	Błędy współrzędnych nawiązania [mm]	Błąd kąta [cc]	Liczba giroazymutów	Błąd giroazymutu [cc]	Błąd azymutu boku końcowego [cc]	Błąd poprzeczny boku końcowego [mm]
1	2	5	0	--	15,2	58
2	2	5	3	12	10,5	36,4
3	2	5	4	12	9,9	32,5
4	2	3	0	--	9,2	37,9
5	2	3	3	10	7,1	27,2
6	2	3	4	10	6,8	24,9
7	2	3	4	12	7,2	27,3
8	3	3	3	10	7,3	29,3

Błędy poprzeczne w odniesieniu do techniki pomiaru osnowy



WNIOSKI

- Osnowę tunelową należy wykonać **zgodnie z przepisami rozporządzenia ds. dokumentacji mierniczo-geologicznej**, a z uwagi na potrzebę wykonania zagadnienia przebitkowego jednostronnego dłuższego niż 3 km, należy bezwzględnie zastosować **pomiary giroazymutu**.
- **Dokładność punktów nawiązania** zewnętrznej osnowy tunelowej przyjęto na (**$m_x = \pm 2 \text{ mm}$ i $m_y = \pm 2 \text{ mm}$**), co zostało potwierdzone poprzez wykonanie dwóch niezależnych sesji statycznych GNSS,
- Osnowa zostanie **wzmocniona** wyznaczeniem **3 azymutów topograficznych**, na podstawie pomiarów giroazymutów o dokładności wyznaczenia **kierunku $\pm 10^\circ$** , na boku nawiązania osnowy tunelowej (przed portalem startowym) oraz w odległościach od portalu startowego tunelu: **1,2 km i 2,8 km**
- **Tylko niektóre** zaprezentowane warianty **spełniają wymagania** dotyczące dokładności określone w STWiORB, rekomendowany do realizacji jest **wariant V**.
- Zaprezentowana powyżej analiza wstępna tego wariantu pozwala na wyznaczenie punktu podstawowej osnowy tunelowej (POT) na portalu **wylotowym (zachodnim) tunelu z dokładnością $M_p = \pm 27.4 \text{ mm}$ w płaszczyźnie poziomej**
- Uzyskanie kryterium dokładności w płaszczyźnie pionowej jest możliwe na podstawie prowadzenia **niwelacji precyzyjnej z dokładnością nie gorszą niż $\pm 1 \text{ mm/km}$** , przy wykorzystaniu standardowej procedury związanej z takim pomiarem.

W obszarze objętym przewidywanymi szkodliwymi wpływami robót górniczych (budowa tunelu) wykonujemy geomonitoring (monitoring **geodezyjny, geotechniczny**).

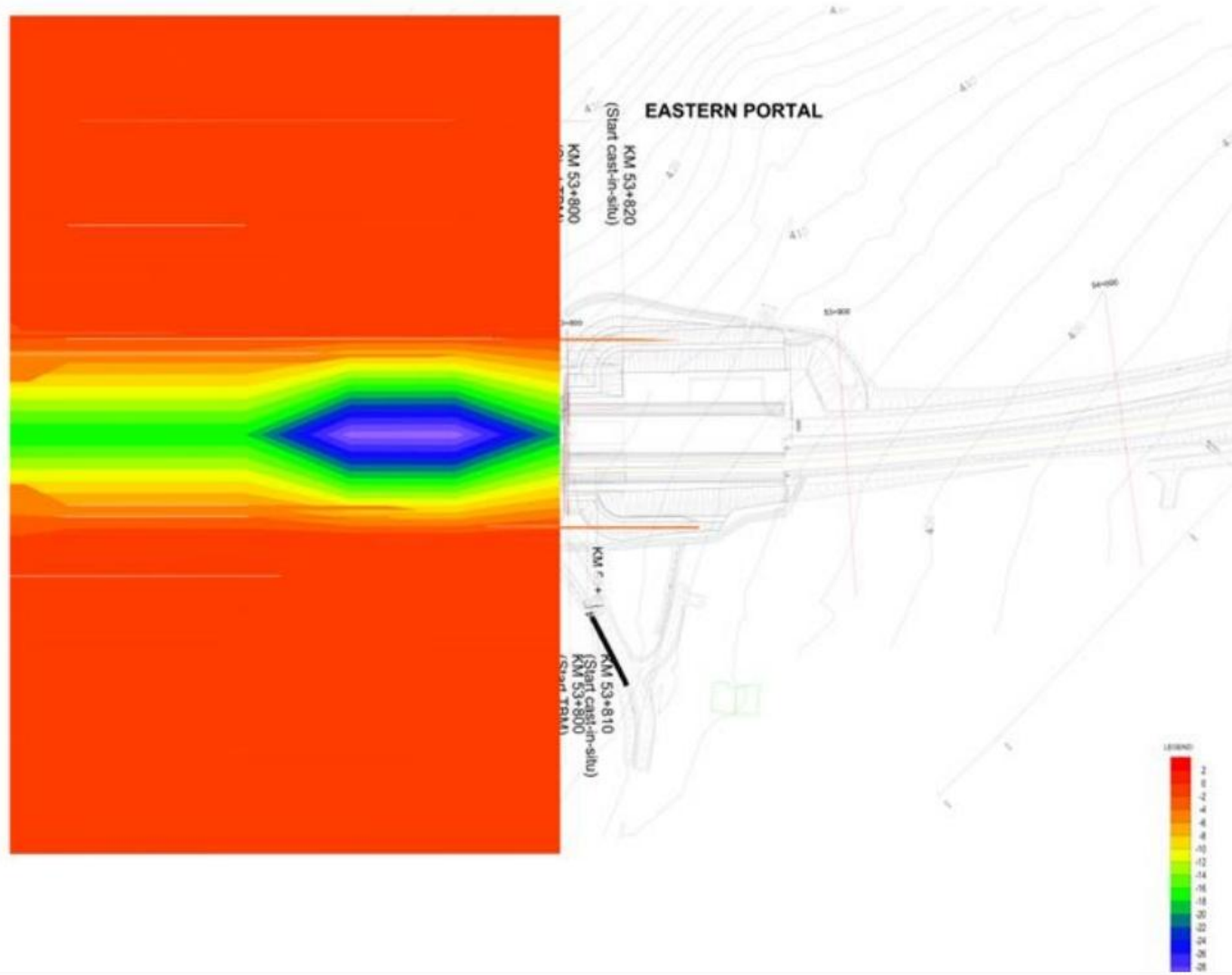
Monitoring jest wykonywany na podstawie **projektu** monitoringu.

Zakres projektu obejmuje:

- **Monitoring konstrukcji** – monitoring budynków, obiektów inżynierskich, infrastruktury drogowej i sieci podziemnych) oraz powierzchni gruntu znajdujących się w strefach objętych budową
- Monitoring konstrukcji **tunelu** wykonywanej przy użyciu TBM,
- Monitoring **środowiskowy** w tym poziom wód gruntowych, hałasu i wibracji

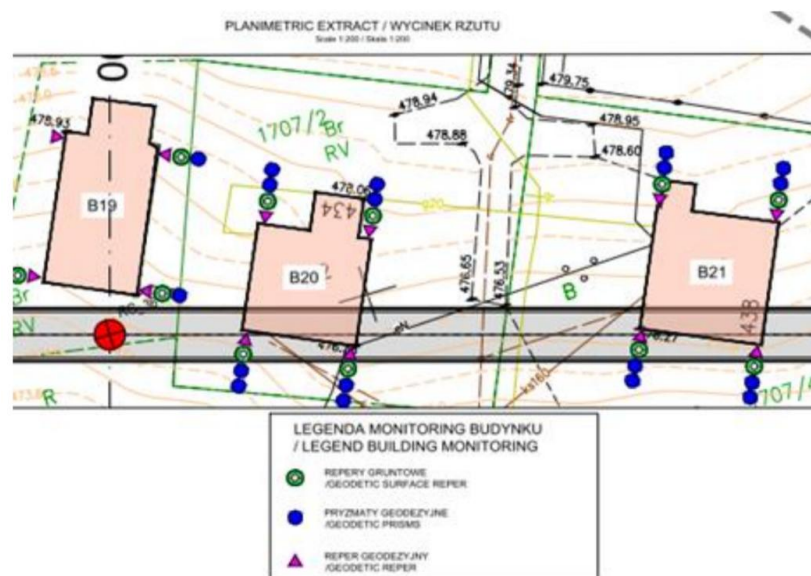


Obszar wpływu wynikający z drążonego tunelu



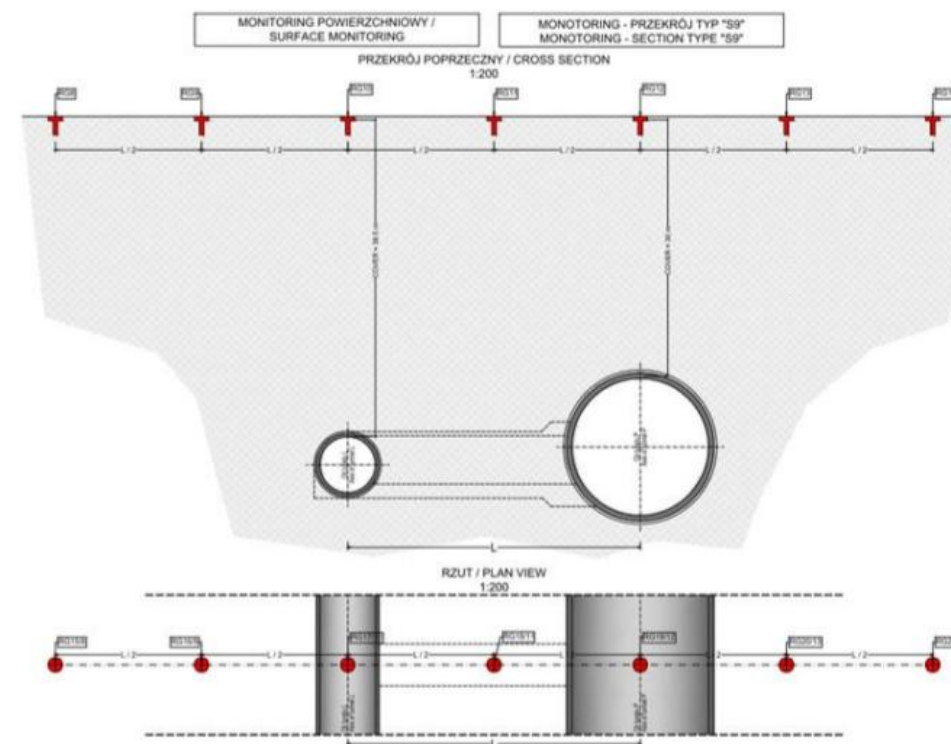
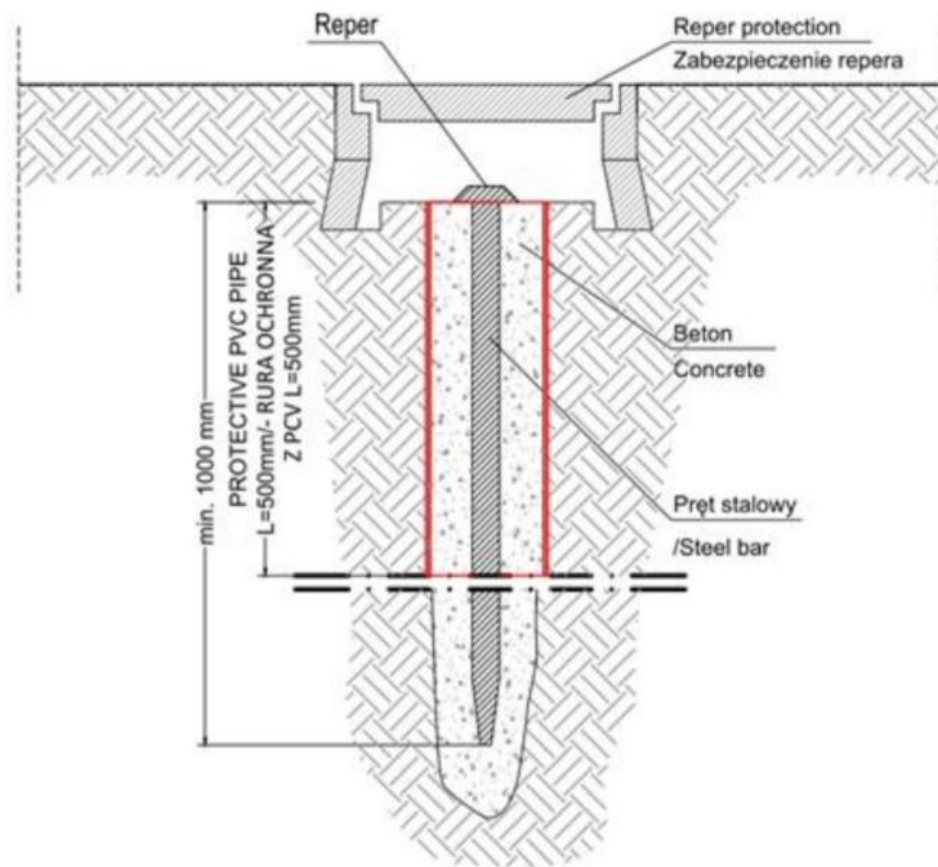
- **Obszar górniczy** – przestrzeń pod powierzchnią ziemi, w której można prowadzić wydobywanie.
- **Teren górniczy** – powierzchnia nad tym obszarem, gdzie mogą wystąpić skutki eksploatacji.

Monitoring geodezyjny budynków



- repery ściennie
- pryzmaty na dwóch poziomach

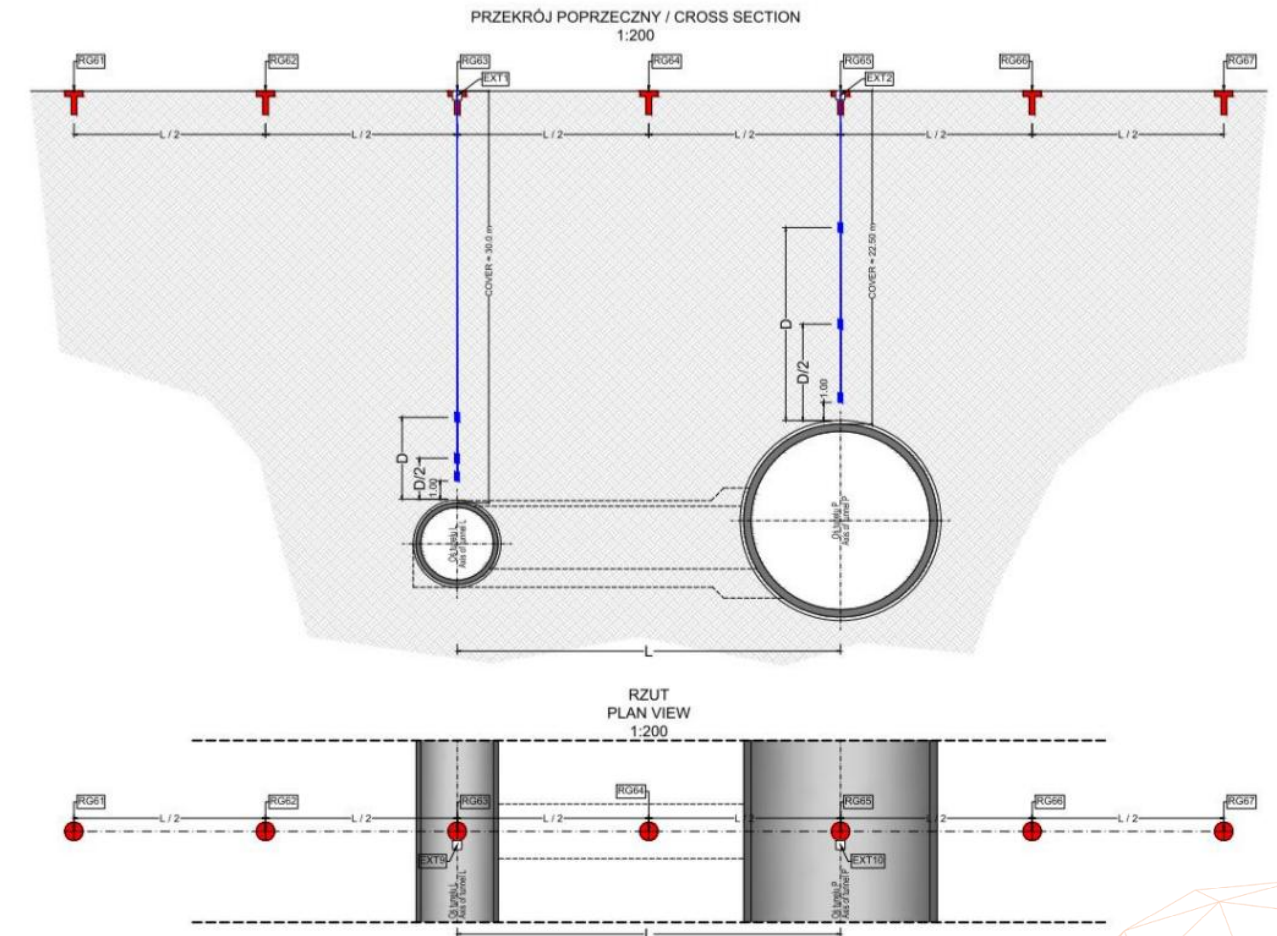
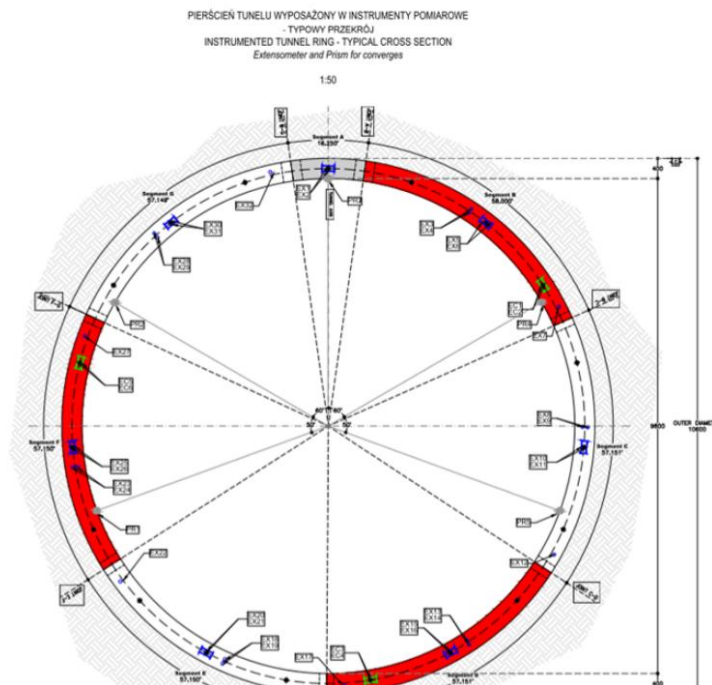
Podczas budowy tuneli należy prowadzić **monitoring powierzchni gruntu** poprzez instalację reperów znajdujących się w strefie oddziaływania budowy



Obserwacje wykonujemy w przekrojach prostopadłych do osi tuneli.
Układ punktów pomiarowych wzdłuż trasy tunelu należy dostosować do istniejących lokalnych warunków, mając na względzie nie narażenie na zniszczenie i stabilność.

Monitoring konstrukcji

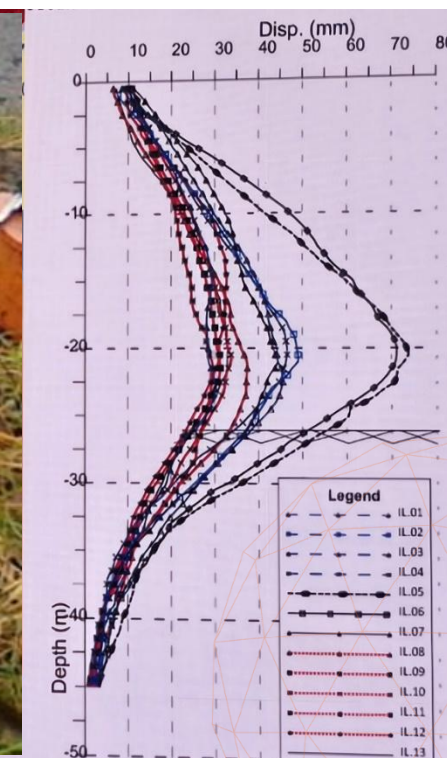
- **szczelinomierze** do pomiaru szczelin i rys
- **tensometry** do pomiaru sił występujących w elementach obudowy tunelu-zamocowane do prętów zbrojeniowych segmentów
- **pryzmaty do pomiaru konwergencji** obudowa tunelu (monitorowania konstrukcji tunelu)
- **ekstensometry**- do pomiaru przemieszczeń gruntu wzdłuż otworu w którym są osadzone



Pierścień-5 pryzmatów co 50-100 m. Analiza zmian odległości między punktami i szybkości przyrostów pozwalają na określenie oddziaływania ośrodka skalnego i gruntowego na obudowę tunelu.

Monitoring geotechniczny

- **Inklinometry**– do pomiaru przemieszczeń poziomych podłoża. Za ich pomocą mierzone są wychylenia kątowe od pionu w dowolnym punkcie, na podstawie których określa się przemieszczenie poziome kolumny inklinometrycznej w gruncie.
- **Piezometry**– monitoringu poziomu wód gruntowych zainstalowane w otworach wiertniczych.



Dokładność pomiaru monitoringu geodezyjnego

Przyjęte metody monitoringu muszą być **adekwatne do istniejącego ryzyka** i pozwolić na analizy obejmujące łącznie pomiary wszystkimi zainstalowanymi urządzeniami monitorującymi.

Bezpośrednia **obserwacja wizualna** w celu wykrycia nowych pęknięć lub odkształceń na konstrukcjach
i bieżące raportowanie pojawiających się uszkodzeń.

Skuteczność geomonitoringu jest wprost uzależniona od **zakładanej precyzji** pomiarów.

Wymagana **dokładność** dla pomiarów technikami geodezyjnymi:

Niwelacja precyzyjna – repery ściennie – przemieszczenia pionowe – **0,5mm**

Pomiary tachimetryczne – pryzmaty – przemieszczenia 3D – **1mm**

Skuteczność geomonitoringu zależna jest również od **szybkości** prac.

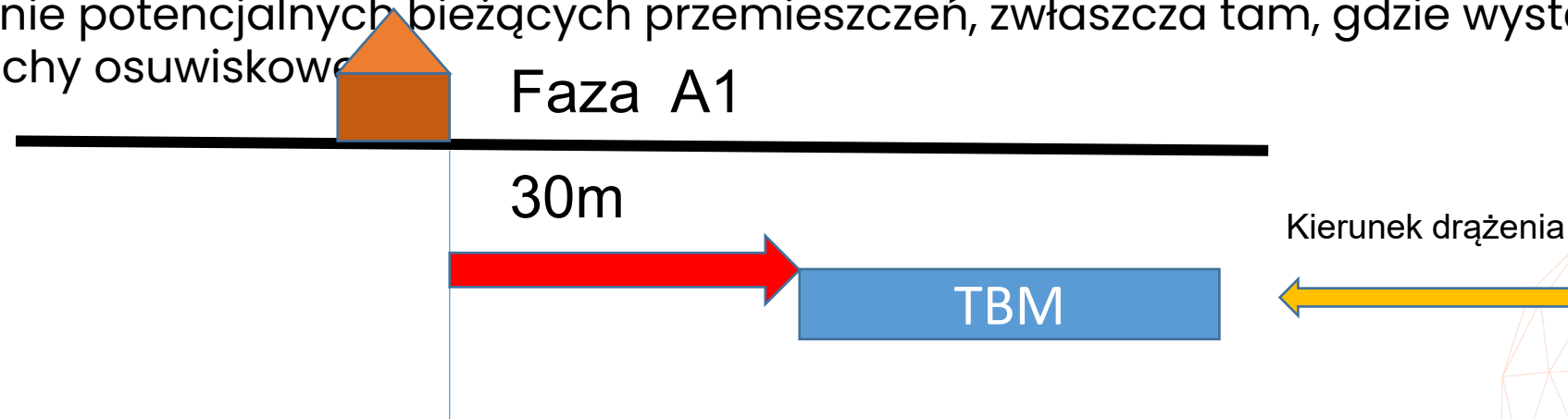
Częstotliwość pomiarów dostosowywana do **postępu prac** budowlanych i występujących zagrożeń.



Etapy Monitoringu konstrukcji budynków i podłoża prowadzony w fazach odpowiadających pracy TBM.

Faza A, kiedy czoło tarczy TBM znajduje się w odległości **większej niż 30 m** od badanej konstrukcji

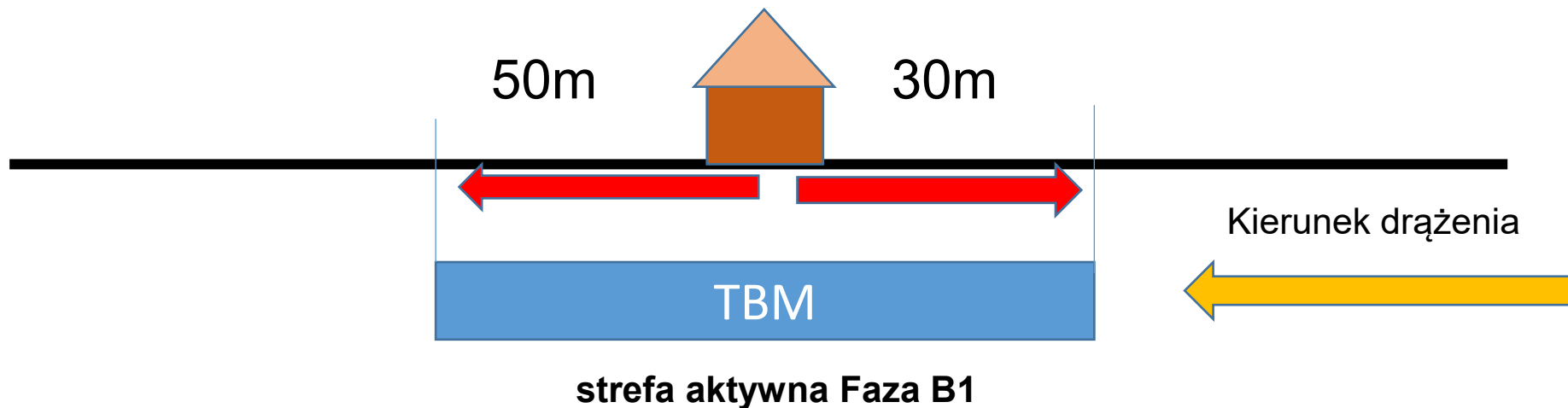
- należy zainstalować z wyprzedzeniem punkty i przyrządy pomiarowe, aby można było wykonać tzw. pomiary zerowe, przed przejściem TBM i określić zakres naturalnych przemieszczeń, niezwiązanych z budową tunelu
- należy wykonać **co najmniej 4 serie pomiarów** w przypadku technik geodezyjnych. Ma to na celu sprawdzenie potencjalnych bieżących przemieszczeń, zwłaszcza tam, gdzie występują potencjalne ruchy osuwiskowe



Etapy Monitoringu konstrukcji budynków i podłoża prowadzony w fazach odpowiadających pracy TBM.

Faza B to monitorowanie **strefy aktywnej** – gdy czoło tarczy TBM znajduje się w strefie **między 30 m przed i 50 m** za oprzyrządowaniem pomiarowym.

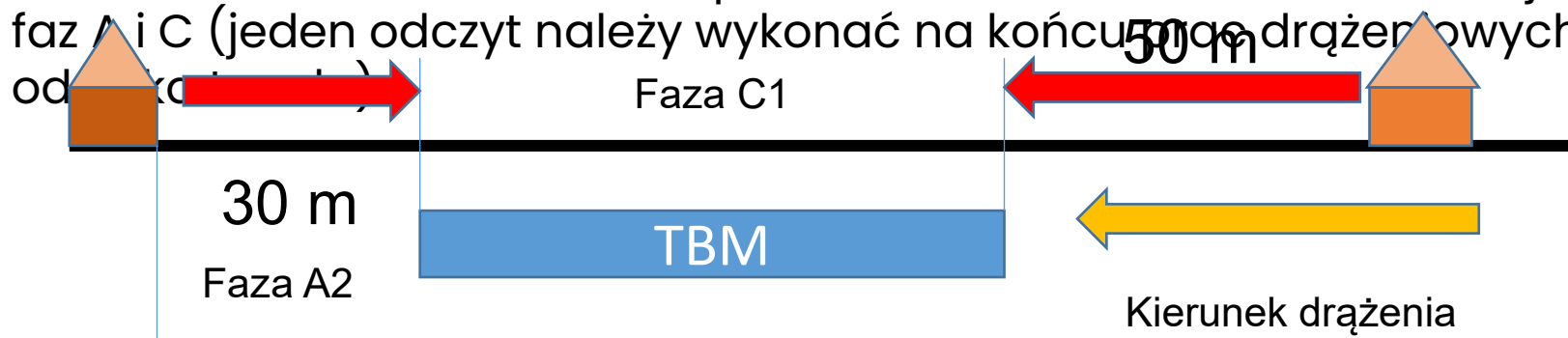
- **spodziewane są największe osiadania**
- **pomiary raz dziennie do momentu ustabilizowania** (tj. 3 kolejne pomiary będą różnić się **mniej niż 2 mm lub 10% wartości**), z wyjątkiem sytuacji, w których wystąpią znaczne osiadania, które będą wymagały dodatkowych pomiarów.
- obserwacje ruchów poziomych, przechyłów i osiadania budynków a także automatyczne pomiary zainstalowanych urządzeń (klinometrów ściennych czy elektronicznych wskaźników szerokości pęknięcia) **wykonywane w czasie rzeczywistym – minimum raz na 3 godziny**



Etapy Monitoringu konstrukcji budynków i podłoża prowadzony w fazach odpowiadających pracy TBM.

Faza C po przejściu TBM (**poza strefą aktywną**) następuje – monitoring końcowy. Dotyczy on strefy, w której krótkotrwałe osiadania spowodowane wydrążonym tunelem powinny zostać ustabilizowane.

- **Pomiary niwelacyjne** należy przeprowadzać co najmniej **raz w tygodniu** przez miesiąc (łącznie 4 pomiary) chyba że wyniki nie ustabilizują się.
- **Pomiary tachimetryczne** należy przeprowadzać **przez co najmniej 1 tydzień** lub dłużej, jeśli wyniki nie są jeszcze stabilne (tj. trend pomiarów różni się o więcej niż 2 mm lub 10% wartości w ciągu 1 tygodnia).
- Monitorowanie inklinometrów, piezometrów i ekstensometrów nie jest wymagane dla faz A i C (jeden odczyt należy wykonać na końcu każdego drażenia TBM konkretnego odcięcia).



System do zbierania i analizowania danych pomiarowych.

Dane pochodzące z czujników oraz pomiarów wielkości przemieszczeń bez systemu do **gromadzenia, przetwarzania, wizualizacji i analizy**, byłyby **mało użyteczne**.

Rola systemu :

Zbieranie danych

1. Integracja sygnałów z różnych instrumentów i czujników
2. Dane trafiają do jednego repozytorium w czasie rzeczywistym lub w trybie okresowym

Analiza i przetwarzanie

1. Automatyczne obliczanie przemieszczeń, odkształceń, osiadań.
2. Porównywanie z wartościami progowymi (np. dopuszczalne odchyłki).
3. Wyciąganie trendów i prognozowanie zagrożeń.

Wizualizacja i raportowanie

1. Wykresy, mapy deformacji, modele 3D.
2. **Dashboardy** (inteligentna pulpity) dostępne online dla inwestora, kierownika budowy, inspektorów.
3. Raporty okresowe generowane automatycznie.

Alarmowanie i bezpieczeństwo

1. Powiadomienia SMS/e-mail w razie przekroczenia wartości krytycznych (powiadomienie, alert alarm)
2. Możliwość zdalnego nadzoru – bez konieczności obecności geodety na miejscu.



Podsumowanie

Drążenie tunelu tarczą TBM prowadzone jest w **obszarze górniczym**, czyli przestrzeni **pod powierzchnią ziemi**, w której dopuszcza się eksploatację.

Teren górniczy to powierzchnia **nad tym obszarem**, gdzie mogą wystąpić **wpływy eksploatacji**, takie jak osiadania czy deformacje gruntu.

Monitoring geodezyjny ma kluczowe znaczenie dla:

- **kontroli położenia** TBM i geometrii tunelu,
- **pomiaru deformacji** powierzchni i obiektów,
- **zapewnienia bezpieczeństwa** i ochrony infrastruktury.

Dzięki monitoringowi możliwe jest:

- **precyzyjne prowadzenie** drążenia tunelu
- **wczesne wykrywanie** zagrożeń
- **minimalizacja skutków** eksploatacji na teren górniczy.



Dziękuję za uwagę

