

Wpływ poślizgu w zamkach grodziec typu U na ich nośność – cz. 2

Nowa norma PN-EN 1993-5:2007

W drugim tegorocznym wydaniu niniejszego kwartalnika [5] autorzy artykułu rozpoczęli dyskusję na temat wpływu poślizgu w zamkach grodziec typu U na ich nośność i odkształcalność. Głównym motywem napisania artykułu było pojawienie się normy PN-EN 1993-5:2007 Eurokod 3 – Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 5: Palowanie i ścianki szczelne [1].

Dodatkową motywacją dla autorów, była chęć skłonienia projektantów do szukania bardziej ekonomicznych rozwiązań opartych na ściankach typu Z oraz zwrócenie uwagi na niebezpieczeństwa, jakie niesie ze sobą nieuwzględnianie fenomenu poślizgu w zamkach.

Przypomnijmy, że autorzy kończyli poprzedni artykuł obietnicą przedstawienia wartości parametrów β_B i β_D (parametry zmniejszające odpowiednio W_x i I_x ścianki, z pojedynczych lub podwójnych grodziec typu U, ze względu na nieprzenoszenie sił ścinających w zamkach) w Załącznikach Krajowych różnych krajów do normy EN 1993-5:2007. Tab. 1 przedstawia Załącznik Krajowy do niemieckiego wydania normy [2].

W dalszej części artykułu zostanie opisane badanie w pełnej skali, w trakcie którego obciążono w ten sam sposób ściankę z grodziec Z i podwójnych grodziec U. Na przykładzie zilustrowane zostaną też możliwe konsekwencje poślizgu grodziec w zamkach.

Załącznik Krajowy do niemieckiego wydania normy EN 1993-5:2007 [2]

Pełna ocena wszystkich czynników wpływających na wartości parametrów β_B i β_D (a w poprzednim artykule [5] wymieniono ich 7 dla pojedynczych grodziec U i 6 dodatkowych dla grodziec podwójnych) jest bardzo trudna na etapie projektowania.

Wiele z tych czynników (np. jakość i sposób przygotowania zamków, czy metoda pogrążania ścianki) nie może w ogóle być oszacowanych na etapie projektowania. Z drugiej strony uwzględnianie wpływu wszystkich czynników, które można by oszacować, nawet tych mających mały wpływ na nośność ścianki, komplikowałoby obliczenia lub nakładałoby na wykonawcę konieczność przestrzegania pewnych zaleceń (np. co do spawania, wykonywania oczepów zwieńczających, zakazu stosowania środków smarujących lub uszczelniających zamki), a na inspektorze konieczność kontroli wypełniania tych zaleceń.

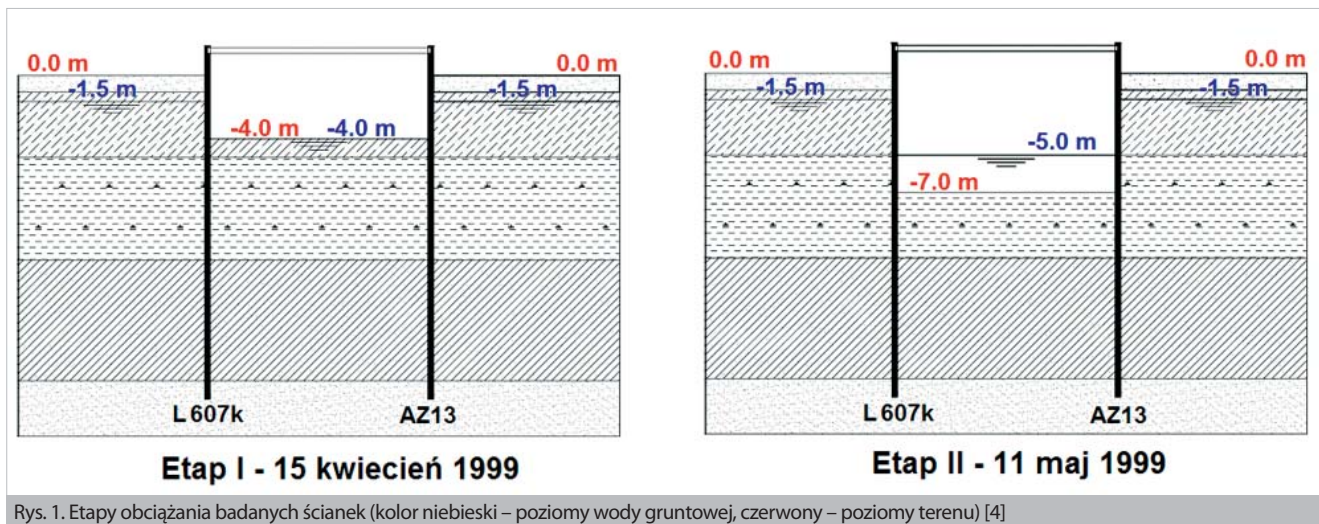
Z powyższych powodów dane przedstawione w tab. 1 zawierają wartości współczynników β_B i β_D , będące swoistym kompromisem między rzetelnością naukową a pragmatyką projektową, co wydaje się być optymalnym rozwiązaniem. Korzystając z takiej właśnie tabeli, od października 2008 roku, projektanci w Niemczech wyznaczają obliczeniową nośność ścianki szczelnej z grodziec typu U. Identyczne lub

Typ grodziec U	Liczba poziomów kotew/rozpór	Rodzaj gruntu	Wartości współczynników	
			β_B	β_D
Pojedyncza			0,6	0,4
Podwójna (z zaciśniętymi lub zaspawanymi zamkami)	0	luźny do średnio zagęszczonego miękkoplastyczny do plastycznego ^a	0,7	0,6
		zagęszczony do bardzo zagęszczonego twardoplastyczny do zwartego ^b	0,8	0,7
	1	luźny do średnio zagęszczonego miękkoplastyczny do plastycznego ^a	0,8	0,7
		zagęszczony do bardzo zagęszczonego twardoplastyczny do zwartego ^b	0,9	0,8
	≥2	luźny do średnio zagęszczonego miękkoplastyczny do plastycznego ^a	0,9	0,8
		zagęszczony do bardzo zagęszczonego twardoplastyczny do zwartego ^b	1,0	0,9

a – dotyczy także sytuacji, gdy ścianka podtrzymuje wodę lub zasypkę gruntową

b – dla gruntów w stanie półzwartym i zwartym, znajdujących się powyżej zwierciadła wody gruntowej, wartość parametru β można zwiększyć o 0,1; należy jednak pamiętać o warunku $\beta \leq 1$

Tab. 1. Wartości parametrów β_B i β_D w niemieckim Załączniku Krajowym normy EN 1993-5:2007[2]



Rys. 1. Etapy obciążania badanych ścianek (kolor niebieski – poziomy wody gruntowej, czerwony – poziomy terenu) [4]

bardzo podobne Załączniki Krajowe zostaną wkrótce przyjęte również we Francji i w Belgii.

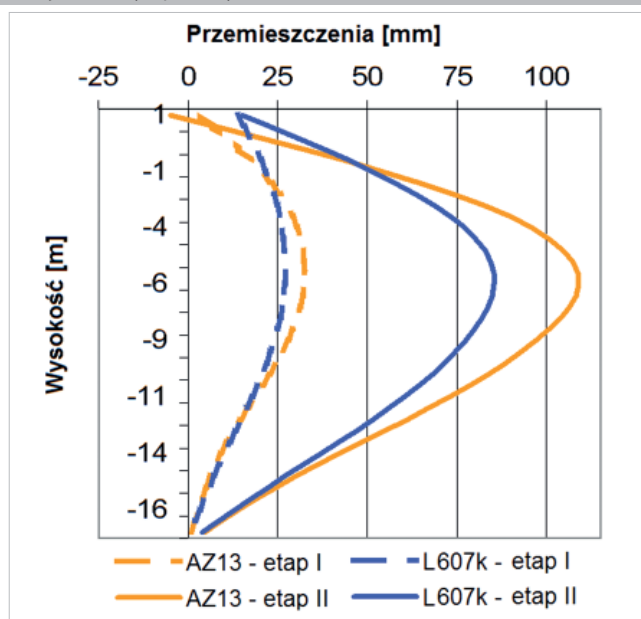
Jak widać wartości parametrów β w niemieckim Załączniku Krajowym do EN 1993-5:2007 [2] zależą w pierwszej kolejności od rodzaju grodzicy U: pojedyncza lub podwójna. W przypadku grodzic podwójnych (sparowanych) ich nośność zależy dodatkowo od ilości podpór i parametrów podtrzymywanego gruntu. Innymi słowy nośność obliczeniowa ścianki ze sparowanych grodzic typu U zależy od czynników utrudniających obrót grodzic w poziomej płaszczyźnie, która jest prostopadła do płaszczyzny ścianki szczelnej [5].

Ponieważ tab. 1. nie uwzględnia zabiegu zaspawania zamków ścianki jako sposobu na zwiększenie nośności ścianki, warto przypomnieć, że wpływ spawania zamków w koronie ścianki ma ograniczony zasięg, a zaspawanie zamków pod ziemią, czyli tam gdzie bardzo często ścianka szczelna jest najbardziej wyętzona, jest niemożliwe.

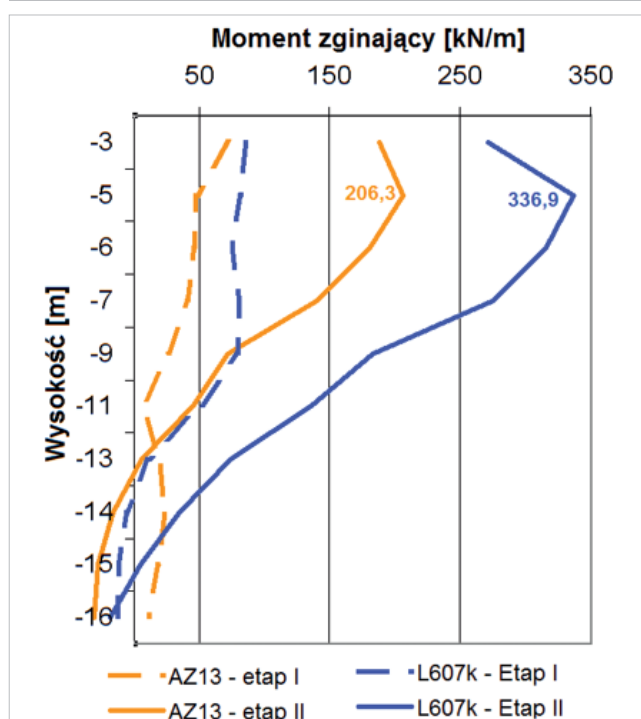
Pełnoskalowe badanie w Pernis pod Rotterdamem [4]

Celem pełnoskalowego badania na polu badawczym w Pernis pod Rotterdamem [4] było sprawdzenie w praktyce, teoretycznych rozważań nad: dwukierunkowym zginaniem ścianek z podwójnych grodzic U oraz projektowaniem konstrukcji ścianek szczelnych z wykorzystaniem nośności plastycznej przekroju W_{pl} i redystrybucji momentów (te efekty badano na grodzicach typu Z). Dla celów artykułu przedstawione zostaną wyniki przemieszczeń obu ścian na etapach, na których obciążenia były identyczne. Podane zostaną również wyniki szacowania parametrów β_B i β_D dla ścianki z grodzic podwójnych.

Badanie polegało na pomiarach przemieszczeń, odkształceń i naprężeń w grodzicach tworzących komorę, wywołanych jej etapowym pogłębianiem. Komora miała wymiary 13,5 na 12 m i była rozparta na poziomie +0,75 m. Badane były dwie przeciwległe ściany długości 13,5 m. Jedna z nich była wykonana z grodzic AZ13 ($W_x = 1200 \text{ cm}^3/\text{mb}$, $I_x = 19700 \text{ cm}^4/\text{mb}$), a druga ze sparowanych grodzic z zaciśniętymi zamkami L607k ($W_x = 3220 \text{ cm}^3/\text{mb}$, $I_x = 70030 \text{ cm}^4/\text{mb}$; grodzicą o parametrach bardzo zbliżonych do tej grodzicy jest PU32). Grodzice miały 19 m długości, a ich korona znajdowała się na poziomie +1,0 m. Obie badane ścianki były odizolowane od prostopadłych do nich ścianek komory za pomocą specjalnych brzegowych grodzic



Rys. 2. Przemieszczenia ścianki z grodzic AZ13 i L607k (opis w tekście) [4]



Rys. 3. Momenty zginające w ściankach z grodzic AZ13 i L607k (opis w tekście) [4]

dylatujących. Rozpory były wykonane w taki sposób, aby obie ściany pracowały niezależnie.

Podłoże gruntowe zbudowane było z 16,5-metrowej warstwy plastycznych glin i torfów, poniżej których znajdował się grunt niespoisty. Zwierciadło wody gruntowej znajdowało się na poziomie -1,5 m.

Przebieg badania i procedura obciążania ścian wykopu były wieloetapowe. Ze względu na ograniczoną objętość artykułu przedstawiono jedynie 2 etapy przegłębiania wykopu (rys. 1.), przemieszczenia (rys. 2.) i momenty (rys. 3.) w obydwu ściankach (z grodziec *AZ13* i *L607k*) na każdym z tych etapów.

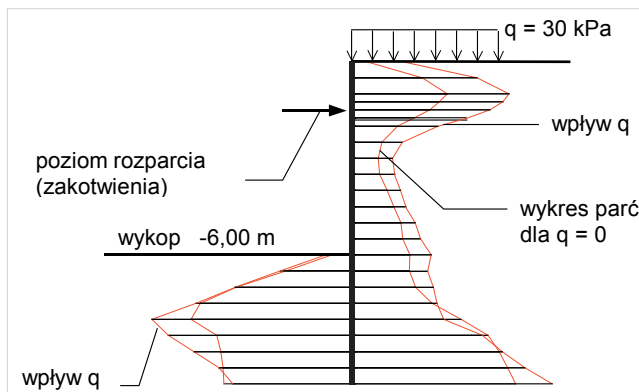
Na rys. 2 przedstawiono pomiary odkształceń obu badanych ścian. Pomiarów dokonano za pomocą inklinometrów. Jak można zauważyć, ściana z grodziec *L607k* będąca ponad 3,5-krotnie sztywniejsza (*ED*) od ścianki z grodziec *AZ13* przemieściła się, w najbardziej ekstremalnym punkcie, jedynie o około 20% mniej. Oczywiście tak mała różnica między przemieszczeniami nie jest jedynie wynikiem zginania dwukierunkowego i poślizgu w zamkach grodziec *L607k*, ale również może być efektem różnic w redystrybucji parcia i odporu gruntu zależnych od sztywności ścianki. Pomimo tego, zaprezentowane wyniki muszą każdego inżyniera skłaniać do zastanowienia.

Natomiast na rysunku 3 przedstawiono wyniki pomiarów wartości momentów zginających. Wyniki uzyskano dzięki zamocowanym do grodziec tensometrom. Jak można zauważyć, wartość momentu zginającego jest większa dla pary grodziec *L607k*, niż dla grodziec *AZ13*. Jest to wynikiem obrotu pary grodziec *L607k*, co spowodowało zmniejszenie rzeczywistego wskaźnika W_x tej grodziec [5]. Aby porównać wykorzystanie nośności obu przekrojów należy przyjąć, że oba profile są wykonane ze stali o tej samej granicy plastyczności. Gdy założy się, że jest to stal S355GP ($f_y = 355$ MPa), to grodziec *AZ13* wykorzystuje 48,4% swojej nośności (w domyśle można przyjąć, iż wykorzystuje 581 cm³/mb ze swojego $W_x = 1200$ cm³/mb), a *L607k* wykorzystuje 29,5% swojej nośności (mysłowo można przyjąć, iż wykorzystuje 950 cm³/mb ze swojego $W_x = 3220$ cm³/mb). W tym przypadku także należy podkreślić, iż wpływ na uzyskane pomiary ma różnica w podatności obu ścianek. Na sztywniejszą ściankę, którą jest w tym wypadku *L607k*, działają silniejsze parcia gruntu. Wyniki uzyskane dzięki zamocowanym na różnej głębokości urządzeniom do pomiaru parcia gruntu wykazały około 10% większe parcia gruntu działające na ściankę *L607k* [4].

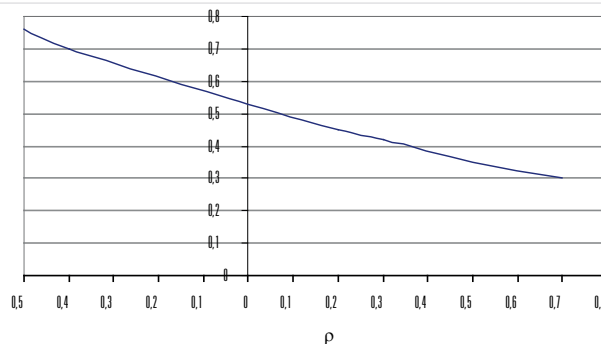
Dalsza analiza wyników wykazała, iż parametr β_D przyjął na Etapie I dla czterech grodziec *L607k*, na których zamontowano inklinometry wartości 0,6; 1,0; 0,97; 1,0; a na Etapie II odpowiednio 0,57; 0,68; 0,68; 0,76 [4]. Natomiast dzięki danym z tensometrów zamocowanych do jednej z par grodziec *L607k* można było wyznaczyć parametr β_B , który na Etapie I wyniósł 0,68, a na Etapie II 0,73 [3]. Dokładniejszą analizę wyników i opis badania, wraz z całą podstawą teoretyczną można znaleźć w pracy Korta [4].

Konsekwencje obniżenia sztywności i wytrzymałości ścianki szczelnej

Obszerny przegląd i dyskusję różnych metod projektowania ścianek szczelnych z uwzględnieniem ich podatności opublikowali ponad 30 lat temu Bjerrum, Frimann-Clausen i Duncan [3], przedstawiając historię badań i aktualny stan wiedzy. Sygnalizowali oni duże rozbieżności wartości mo-



Rys. 4. Przykładowa redystrybucja parć gruntu od ciężaru własnego i obciążenia na naziemie dla konstrukcji podatnych



Rys. 5. Współczynnik redukcyjny R_m dla momentów od parć gruntu

mentów zginających, obliczanych powszechnie stosowanymi metodami, wynikające z przyjmowania skrajnie różnych założeń projektowych. Badania modelowe wykazały występowanie tzw. przesklepień – koncentracji parć w miejscach kotwienia i poniżej dna wykopu, przy jednoczesnej redukcji parcia na długości ściany, tam gdzie możliwe jest jej ugięcie.

Dyskusja wpływu sztywności ściany na wyznaczone momenty zginające zawarta została również w pracy Rowe'a [6], który zajmował się ściankami jednokrotnie kotwionymi. Miarą sztywności ścianki szczelnej jest $\log(p)$, gdzie parametr $p = H^4/EI$ wyrażono w m³/kN.

Moment jaki uwzględniany jest w obliczeniach wymaganego wskaźnika ścianki wynosi $M = R_m \cdot M_{max}$, gdzie R_m to współczynnik redukujący dla momentów od parć gruntu.

Dla najczęściej spotykanych wartości parametru $\log(p) = \log(H^4/EI) = -0,5 \div +1,3$ (w układzie SI, gdy H [m], EI [kNm²/m]), redukcję momentów zginających ścianki względem M_{max} (otrzymanego dla schematu sztywnej ścianki nieutwierdzonej w gruncie) można oszacować na 25–70%. Przykład wykresu współczynnika redukcyjnego R_m dla parć od gruntów niespoistych przedstawiono na rysunku 5. W przypadku gruntów spoistych, taka redystrybucja parć na konstrukcje podatne prowadzi do redukcji momentu zginającego sięgającej 40%. Redukcji podlegają tylko momenty pochodzące od parcia gruntu (nie redukuje się parć wody!!!).

W przedstawionym przykładzie (ścianka w Pernis) (rys. 5) można oszacować, że poślizg w zamkach podwójnych grodziec typu U (*L607k*) spowodował obniżenie sztywności ścianki o ok. 30%. Spowodowało to zmianę parametru $\log(p)$ z -0,46 do ok. 0,11. Współczynnik R_m redukujący moment zginający zmienia się wtedy z ok. 0,75 do ok. 0,50. Oznacza to, że ścianka o sztywności obniżonej współczynnikiem β_D o ok. 30% jest zarazem zginana momentem o ok.

33% mniejszym. W przedstawionym przykładzie, gdy redukcja wytrzymałości ścianki opisywana współczynnikiem $\beta_b = 0,70$ wynosi ok. 30%, jednocześnie obniżenie sztywności (i wynikająca z tego redukcja momentu zginającego pochodzącego od parć gruntu) zmniejsza zagrożenie awarią polegającą na złamaniu grodzic.

Należy jednak podkreślić drugi, równie istotny, wniosek z badań Rowe'a [6]. Obniżenie sztywności ściany i redystrybucja parć w kierunku poziomego zakotwienia powoduje znaczne (przeciętnie 30–40% a dochodzące do 80%) zwiększenie siły w zakotwieniu lub rozporze. Jest to wynikiem znacznego wzrostu parć na odcinku ścianki powyżej poziomu zakotwienia, wywołanego deformacją samej ścianki i co istotne, efektem przesklepienia w poziomie zakotwienia. Rowe podkreśla też przejście przez kotwę (rozporę) znacznej części parcia od obciążenia na naziemie (rys. 4).

Podsumowanie

Wprowadzenie załącznika krajowego do nowej normy PN-EN 1993-5:2007 [1] pozwoli na uwzględnienie w obliczeniach ścianek szczelnych wpływu możliwego poślizgu w zamkach grodzic stalowych na ich sztywność i wytrzymałość.

Mechanizm poślizgu w zamkach i związana z nim redukcja sztywności (β_D) zwiększa istotnie deformacje ścianki szczelnej. W przypadku ścianek podpartych redukcja sztywności (β_D) powoduje zarazem zmniejszenie maksymalnego momentu zginającego (przez R_m), to redukcja wytrzymałości (β_B) nie obniża dramatycznie bezpieczeństwa konstrukcji. Należy jednak pamiętać, że za związane z re-

dystrybucją parć gruntu zmniejszenie momentów zginających „płaci się” znacznym (30–40%) wzrostem sił w zakotwieniach lub rozporach. To natomiast może prowadzić do rosnących przemieszczeń w poziomie kotwienia lub utraty nośności rozpor.

LITERATURA

- [1] PN-EN 1993-5:2007 Eurokod 3 – Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 5: Palowanie i grodze.
- [2] DIN EN 1993-5/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 5: Pfähle und Spundwände.
- [3] Bjerrum L., Friman Clausen C.J., Duncan J.M. (1972): Earth pressures on flexible structures. Proceedings of the 5th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Madrid.
- [4] Kort D. A. (2002): Steel sheet pile walls in soft soils. Delft, Delft University Press.
- [5] Kwarciński P., Rybak J. (2008): Wpływ poślizgu w zamkach grodzic typu U na ich nośność. Geoinżynieria. Drogi Mosty Tunele, 02/2008 (17) s. 20–24.
- [6] Rowe D.P. (1972): Panel Discussion. Flexible structures. Proceedings of the 5th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Madrid.

mgr inż. Paweł Kwarciński
ArcelorMittal Commercial Long Polska sp. z o.o.
dr inż. Jarosław Rybak
Politechnika Wrocławska



Politechnika
Wrocławska

Politechnika Wrocławska Instytut Geotechniki i Hydrotechniki

Akademia Górniczo-Hutnicza *Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki*
KGHM CUPRUM *Centrum Badaawczo-Rozwojowe*
Dolnośląski Oddział Polskiego Komitetu Geotechniki
Polskie Towarzystwo Mechaniki Skał
zapraszają na



XXXII ZIMOWĄ SZKOŁĘ MECHANIKI GÓROTWORU I GEOINŻYNIERII „GEOTECHNIKA W BUDOWNICTWIE I GÓRNICTWIE” 8 – 13 marca 2009r. – Szklarska Poręba

Zimowa Szkoła Mechaniki Górnotworu i Geoinżynierii jest ogólnokrajową konferencją naukowo-szkoleniową poświęconą aktualnym zagadnieniom mechaniki górnotworu i geoinżynierii. Pierwsza ZIMOWA SZKOŁA MECHANIKI GÓROTWORU odbyła się w Karpaczu w 1974 r. z inicjatywy Prof. Zdzisława Gergowicza jako spotkanie integrujące naukę z przemysłem. Zaowocowało to trwałą tradycją corocznych spotkań specjalistów z mechaniki górnotworu i geoinżynierii. Ze względu na rosnące zainteresowanie dziedziną geoinżynierii, od 2005 roku tematyka jak i nazwa szkoły została rozszerzona i obecnie nosi nazwę Zimowej Szkoły Mechaniki Górnotworu i Geoinżynierii.

Tematyka XXXII ZSMGiG

„GEOTECHNIKA W BUDOWNICTWIE I GÓRNICTWIE”

- Badania doświadczalne i ich interpretacja
- Modele konstytutywne geomateriałów
- Procesy dynamiczne w górnotworze
- Zagadnienia stateczności i lokalizacji zniszczenia
- Metody numeryczne w geotechnice
- Teoretyczne i praktyczne aspekty konstrukcji geoinżynierskich
- Nowe materiały i technologie w geoinżynierii
- Zastosowanie SIP/GIS w geoinżynierii

Cele Zimowej Szkoły Mechaniki Górnotworu i Geoinżynierii

- Integracja specjalistów przemysłu i środowisk naukowo-badawczych
- Stworzenie możliwości uaktualnienia i pogłębienia posiadanego zasobu wiedzy
- Prezentacja aktualnych problemów mechaniki górnotworu i geoinżynierii

Szczegółowe informacje zamieszczono na stronie internetowej:
www.ib.pwr.wroc.pl/zsmg

Zapraszamy również firmy do uczestnictwa
oraz sponsorowania konferencji

Sekretariat Szkoły

Politechnika Wrocławska, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki
50-370 Wrocław, Wybrzeże Wyspiańskiego 27
tel. 071 320 32 28 fax.: 071 328 48 14

dr inż. Janusz Kaczmarek e-mail: janusz.kaczmarek@pwr.wroc.pl
Bożena Rogut-Siemieniak e-mail: bozena.rogut@pwr.wroc.pl

Patronat medialny

Geoinżynieria
drogi mosty tunele
soengineering roads bridges tunnels