

# Wybrane osiągnięcia starożytnej geotechniki

Dr hab. inż. Jerzy Sękowski, Katedra Geotechniki i Dróg, Politechnika Śląska, Gliwice

## 1. Wprowadzenie

Zenon Wiłun, nieżyjący już profesor Politechniki Warszawskiej w swojej książce „Zarys geotechniki” [1] pisze: „za początek klasycznej mechaniki gruntów można przyjąć rok 1773, w którym ukazało się wielkopomne dzieło Ch. A. Coulomba: *Essai sur une application des regles de maximis et minimis a quelques problemes de statique relatifs a l'architecture*. W pracy tej wspomniany Coulomb sformułował podstawowe zasady teorii równowagi granicznej i podał jej pierwsze zastosowanie do zagadnienia parcia gruntu na mury oporowe”. W dalszej części książki profesor Wiłun wymienia K. Terzagiego, który w 1925 roku dał początek nowoczesnej mechanice gruntów, wydając książkę „*Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage*”. To stosunkowo niedawno, zważywszy, że zmarły w czerwcu ubiegłego roku w wieku 106 lat roku profesor Antoni Rosikoń, mając wówczas 18 lat mógł i zdobył książkę Karla Terzagiego. Geotechnika to jednak nie tylko 240 lat wstecz. Niemalże 100 lat przed wydaniem pracy Coulomba, francuski inżynier Sébastien le Prestre de Vauban wybudował dziesiątki fortec, w których zasadniczą rolę odgrywał odpowiednio ukształtowany mur oporowy, przejmując parcie gruntu zalegającego za nim. Idąc tym tropem można zapytać, czy jeszcze wcześniej realizowano obiekty wymagające rozwiązywania problemów, będących przedmiotem zainteresowań współczesnej geotechniki (wg Z. Wiłuna [1] – „to nauka o pracy, badaniach, tu dodajmy: i technikach wzmacniania gruntów, dla celów projektowania i wykonawstwa budowli ziemnych oraz fundamentów budynków i nawierzchni drogowych”). By odpowiedzieć w jakimś stopniu na to pytanie, posłużę się wybranymi przykładami budowli, zrealizowanymi w różnych cywilizacjach epoki starożytnej. Nie mam zamiaru ani dostatecznej wiedzy, by podjąć się krytycznej analizy omawianej tematyki. Przyniesione przykłady mają charakter opisowy, a ich zasadniczym źródłem są prace: Sprague de Campo [3], Józefa Głomba [4, 5], Wojciecha Wolskiego [6], Kazimierza Flagi [7], Kazimierza Kłoska [8] i innych. Według pierwszego z nich – to inżynierowie na przekór wielu przeciwnościom nieprzerwanie szli naprzód wznosząc mury i budowle oraz konstruując maszyny. Technika to dzie-

dzina, która rozwijała się w sposób nieprzerwany, początkowo powoli i niezauważalnie, by z czasem nabrać prędkości.

## 2. Charakterystyka wybranych obiektów budowlanych starożytnych cywilizacji

Cywilizacja to poziom rozwoju osiągnięty przez społeczeństwo w danym okresie historycznym, ze szczególnym uwzględnieniem poziomu kultury materialnej, będącej wskaźnikiem stopnia opanowania przez ludzi sił przyrody i wykorzystania jej bogactw na swoje potrzeby, czego przejawem są m.in. monumentalne budowle (sakralne), pismo i rozwinięty handel [2]. Spośród wielu cywilizacji warto wymienić kilka, które swoją sztuką zadziwiają do dziś, także w zakresie geotechniki. Oto one: cywilizacja mezopotamska, egipska, chińska, grecka i cywilizacja rzymska. Dla cywilizacji mezopotamskiej (ok. 3500 r. p.n.e. – 539 r. p.n.e.) uważanej za najstarszą, silnie zależnej od stanu wód dwóch rzek: Tygrysu i Eufratu szczególnie istotnym pozostawał problem odpowiedniego nawodnienia terenów uprawnych. O ważności problemu mogą świadczyć starożytne treści paragrafów 50 i 55 z kodeksu Hammurabiego, który powstał w latach 1792–1750 p.n.e. (§ 55: Jeśli ktoś otworzył kanał w celu nawodnienia, złożył ręce na łonie i pozwolił wodzie znieść glebę do sąsiedniego pola, odmierzy zboże według pola swego sąsiada – [pistis.pl/biblioteka](http://pistis.pl/biblioteka)) To Sumerowie jako pierwsi ok. 5000 lat temu budowali już kanały. W trzecim tysiącleciu p.n.e. Król Entemena zbudował kanał łączący Tygrys z Eufratem wzdłuż 46 południka. Nieco później zbudowano kanał Nahrwan o ponad 300 km długości, umacniając jego brzegi mułem. W Mezopotamii powstawały również zapory spiętrzające wody i chociaż za najstarszą na świecie [3] uważa się zaporę ziemną Sadd-el-Kafara wybudowaną w latach 2778–2563 r. p.n.e. w Egipcie (długość 108 m, wysokość 12 m) to za najstarszą w Iraku uważa się zaporę Nemroda lub Marduka. Wybudowana na rzece Tygrys ok. 2500 lat p.n.e. o wysokości 12 m była użytkowana aż do VII w n.e. Babilończycy opanowawszy sztukę nawadniania terenów zwrócili uwagę na budowę obiektów monumentalnych, czyli świątyń (zikkurat – ziggurat) i pałaców. Najlepiej zachowanym jest Zikkurat w Ur wybudowany ok. 2100 r. p.n.e (rys. 1).



**Rys. 1.** Zikkurat w Ur ([www.national-geographic.pl](http://www.national-geographic.pl))



**Rys. 2.** Piramida Chufu (Wikipedia)

Już za rządów władców chaldejskich (Nabopalassar, Nebokandnezer) wybudowano m.in. drogę procesyjną (mezopotamiński bruk). Drogę z takim kunsztem aż do czasów rzymskich nie budował nikt inny. Innym cudem chaldejskich władców był most (najstarszy) przez Eufrat, długości 116 m zbudowany na siedmiu podpórach kamiennych. W 539 r. p.n.e. Pers Cyrus zdobył Babilonię, a stworzone przez niego Imperium Perskie funkcjonowało m.in. na terenie Babilonii przez ponad 2 stulecia. To wówczas, za panowania Kserksesa, pokaz swoich umiejętności inżynierskich dali Fenicjanie, wykonując (najprawdopodobniej ze znajomością kąta stoku naturalnego) kanał przez przesmyk półwyspu Atos w 480 r. p.n.e.

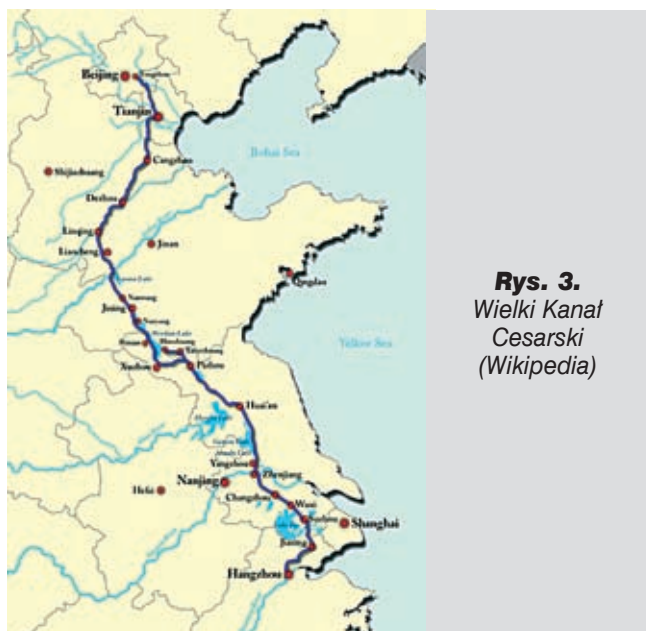
Cywilizacja egipska (3350 r. p.n.e. – 332 r. n.e.), powszechnie kojarzy się z budową monumentalnych piramid, których wykonanie nawet przez współczesnych postrzegane jest jako nie lada wyczyn. Piramida wybudowana przez faraona Chufu (Cheopsa) ok. 2560 r. p.n.e. to największa, po Murze Chińskim, pojedyncza budowla starożytności (rys. 2).

Jednak to Nil, od którego kaprysów zależał los mieszkańców Egiptu, był obiektem nieustannych zainteresowań rządzących. Stąd, podobnie jak inne cywilizacje związane z dorzeczami wielkich rzek, swoje istnienie

Egipt uzależniał od prawidłowej gospodarki wodnej. Odpowiednie nawodnienie terenów uprawnych zapewniał skomplikowany system kanałów, podobnie jak miało to miejsce w przypadku cywilizacji mezopotamskiej, wymagający ciągłej dbałości oraz zapory. Tak też się działo od króla zwanego Skorpionem. Do najbardziej zaangażowanych w tę działalność należał faraon Samsuseret III (XXI w. pne). Już za czasów Chufu (Cheopsa) w XXVI wieku p.n.e. wybudowano zaporę kamienną o długości ok. 80 m i wysokości 10 m. Innym osiągnięciem była wybudowana przez Egipcjan ok. 1300 r. p.n.e. zapora w Syrii spiętrzająca rzekę Orontos. Wspaniałym, jakkolwiek niedokończonym, dziełem budowniczych Egiptu była budowa kanału rozpoczęta przez faraona Nikau II (ok. 600 r. p.n.e.), mającego połączyć Morza Śródziemne i Czerwone, dokończona już przez Dariusza I Wielkiego, a kontynuowana (w ramach rozbudowy) w III wieku p.n.e. przez Ptolemeusza II.

Cywilizacja chińska (ok. 2000 r. p.n.e. – 1400 r. n.e.) zaczyna błyszczeć po upadku dynastii Szang i dojściu do władzy dynastii Zhou (Czou) (1122 r. p.n.e. – 220 r. p.n.e.). W ciągu stuleci w Chinach wykształciły się różne style architektoniczne. Chińczycy byli budowniczymi kilkukondygnacyjnych obiektów kubaturowych i interesujących mostów (w tym wiszących). Wybitnym, jakkolwiek kontrowersyjnym władcą Chin był Cin Szy Huang-ti (Cin Czeng), żyjący w latach (260 p.n.e. – 210 p.n.e.). To za niego powstawały ogromne posagi i on pozostawił po sobie największą budowlę starożytnego świata, słynny mur chiński z ubitej ziemi lub kamienia obłożony kamieniem ciosanym, kamieniem polnym lub cegłą o wysokości 9 m i grubości 7,5–4,5 m oraz łącznej długości ok. 4000 km.

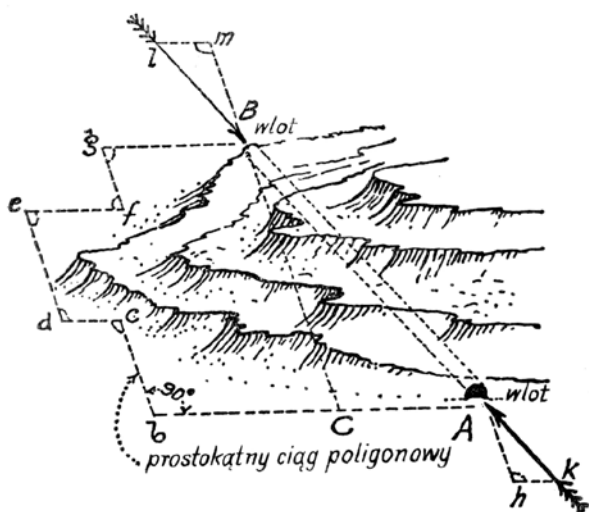
Chiny od tysięcy lat były krajem kanałów (obecnie mają ich ok. 300 000 km). Najważniejszym z nich był Wielki kanał Cesarski o długości 2000 km (rys. 3), którego budowę rozpoczęto na początku V wieku p.n.e.



**Rys. 3.** Wielki Kanał Cesarski (Wikipedia)

O wielkości przedsięwzięcia realizowanego ponad 1000 lat niech świadczy fakt, że ok. 600 r. n.e. do jego budowy powołano aż 5,43 mln robotników, spośród których ogromna liczba nie przeżyła.

Autentyczna historia grecka rozpoczyna się z początkiem VI wieku p.n.e. Wiek VI i V p.n.e. to złoty okres dla cywilizacji greckiej (ok. 700 r. p.n.e. – 323 r. p.n.e.). To dla zdobycia tych ziem Kserkses rękami Harpalosa w 480 r. p.n.e. wybudował wspaniały most przez Hellespont, po którym przeszło 150 tysięcy jego żołnierzy, nie licząc pozostałych. Jakkolwiek Grecy preferowali naukę to byli też wspaniałymi inżynierami, lecz małe zasoby ludzkie nie pozwoliły im na budowę tak wielkich obiektów jak na wschodzie. Korzystali z dróg naturalnych i kolejinowych, posiadających zwrotnice i bocznice. Do najlepszych inżynierów należeli mieszkańcy wyspy Samos. Herodot wymienia trzy najwspanialsze ich osiągnięcia: tunel o przekroju  $1,7 \times 1,7$  m i długości ok. 1000 m, wybudowany przez Eupalinosa ok. 550 lat p.n.e. w wysokiej na 270 m górze wapiennej Kastro (rys. 4). W rowie przebiegającym wzdłuż tunelu ułożono gliniane rury zasilając miasto w wodę. Tunel wykonywano z obydwu stron z błędem ok. 6 m w poziomie i ok. 1 m w pionie.



**Rys. 4.** Przypuszczalny sposób, w jaki Eupalinos wytyczył trasę tunelu pod maszyem góry Kastro na wyspie Samos w VI w p.n.e. (za [3])

Drugim osiągnięciem była tama na morzu dokola portu w Samos o głębokości 36 m i długości 360 m, a trzecim świątynia Hery o wymiarach  $116 \times 55$  m budowana w latach 537–522 p.n.e. Warto jeszcze wspomnieć o świątyni Artemidy, jednym z cudów ówczesnego świata. Świątynia o wymiarach  $51 \times 105,27$  m miała 127 marmurowych kolumn o wysokości 18 m. Wybudowano ją w roku 540 p.n.e. najprawdopodobniej na terenie bagienym (przykład: sanktuarium w Świętej Lipce w kraju). Na wbitych w grunt palach ułożono kamienie i okruchy skał sięgające do powierzchni terenu. O skuteczności rozwiązania trudno dziś mówić, jako że w roku 356 p.n.e. szewc

Herostratos spalił świątynię, a Efez znajdujący się na przeciw Samos zniknął w mule rzeki Kaystros. Kontynuatorem myśli hellenistycznej był Aleksander Wielki, który po zdobyciu Grecji powoził swoje armie w różne i dalekie strony świata, szerząc wszędzie wpływy hellenistyczne.



**Rys. 5.** Droga rzymska – Rzym (fot. autora)

Cywilizacja rzymska (753 r. p.n.e. – 476 r. n.e.) obejmująca zasadniczo basen Morza Śródziemnego należy do tych, które na świecie współczesnym odcisnęła największe znamię. Rzymianie jako naród praktyczny, nieco mniej zainteresowani nauką, dysponując bogatymi złożami kamienia i drewna, a także ludzi włożyli o wiele więcej wysiłku niż ich poprzednicy w budowę dróg, portów, akweduktów i świątyń. Już dla potrzeb obrony miast i obozów wojskowych kopali rowy (czasem kilka rzędów) sypiąc między nimi groble. To ok. 310 r. p.n.e. cenzor Appiusz Klaudiusz Krassus zbudował akwedukt Aqua Appia, a następnie ok. 180 km drogi Via Appia. Budowa dróg to specjalność Rzymian (rys. 5). Kolejne niezwykle starannie układane warstwy w ok. metrowym wykopie, w który czasem wbijano pale, (ostatnią często był bruk z wielobocznych bloków z twardej skały ułożony na betonie), sprawiły, że pozostałości owych dróg pozostały do dzisiaj.

Rzymianie budowali z potrzeby, ale ucząc się od innych ludów, osiągnęli mistrzostwo m.in. w budowie mostów (pierwszy Pons Sublicius w VI wieku p.n.e.) Podobno było ich w Cesarstwie ok. 40000, z czego większość drewnianych. Do najśłynniejszych należał most Cezara przez Ren. Drewniany w konstrukcji leżajkowej wsparty został na podporach palowych. Rozpiętość podpór 7–9 m. Przykładem sprawności organizacyjnej był czas budowy obiektu wynoszący według różnych źródeł od 10 dni do kilku tygodni. W korycie o szerokości ok. 400 m wykonano wówczas 50 jarzm, czyli 600 pali. Swoje rzemiosło i znajomość sztuki budowlanej Rzymianie realizowali z jeszcze większym kunsztem w okresie nowożytnym.

Po upadku cywilizacji rzymskiej w V wieku n.e. wschód z kulturą bizantyjską, perską i chińską stały się widow-

nią rozwoju myśli technicznej. Początki cywilizacji europejskiej to dopiero koniec VIII wieku n.e., a jednym z jej pierwszych twórców był Karol Wielki.

### 3. Podsumowanie

Przytoczone przykłady sztuki budowlanej z różnych okresów cywilizacji starożytnej wymagały rozwiązania m.in. problemów natury geotechnicznej. Umiejętność lokowania obiektów, wykonywania nasypów, zapór, wałów i grobli w połączeniu z wyborem odpowiedniego materiału i jego zagęszczaniem, a także budową kanałów i tuneli oraz fundamentów obiektów mostowych to problemy, które są przedmiotem zainteresowań współczesnej geotechniki. Zrealizowane obiekty budowlane dowodzą wielkości ich twórców. Nie wszystkie jednak przedsięwzięcia zakończyły się tak spektakularnym sukcesem. Katastrofy i awarie wpisane są również w historię budownictwa. Czy było ich dawniej więcej, trudno jednoznacznie stwierdzić. Faktem jest natomiast, że były one, w wielu przypadkach, spowodowane podobnym co obecnie przyczynami. Z pewnością także brak dostatecznej wiedzy i doświadczenia przyczyniły się do wystąpienia wielu z nich. Ich szczegółowa analiza, jak pisze profesor Wojciech Radomski w pracy [9], może być niejednokrotnie (co brzmi nieco paradoksalnie) źródłem postępu i rozwoju wiedzy w określonej dyscyplinie. Postęp ten może być powolny i trudno nie przytoczyć w tym momencie słów autorów pracy [6] „jedną z cech budownictwa zapór jest, że pięciu tysiącom lat ich historii odpowiada w istocie rzeczy niewiele więcej niż pięćdziesiąt lat prób naukowego uzasadnienia ich budowy”. To prawda, ale jeśli przyjrzeć się wielu wynalazkom i osiągnięciom człowieka trudno nie zgodzić się z faktem, że były one poprzedzone dziesiątkami, a może i setkami drobnych często niepozornych osiągnięć, które uczyniły wynalazek „zasadniczy” źródłem zachwyty i sławy, niejednokrotnie z pominięciem uznania dla twórców „pośrednich”. Powinnością współczesnych, zwłaszcza budowniczych i architektów, jest szacunek dla poprzedników i podziw dla ich kunsztu budowlanego, niezależnie od stopnia udziału w tworzeniu cywilizacji starożytnej i nie tylko starożytnej.

#### BIBLIOGRAFIA:

- [1] Zenon W., Zarys geotechniki. WKiŁ. Warszawa, 1982
- [2] Encyklopedia Powszechna PWN, cz.1. Warszawa 1983
- [3] Spraque de Camp L., Wielcy i mali twórcy cywilizacji, Wiedza Powszechna, 1974
- [4] Głomb J., Bohaterowie świata podzielonego. Gliwice, 2004
- [5] Głomb J., Ponifex Maximus. Ponad przestrzenią i czasem, Gliwice, 2012
- [6] Wolski i inni., Zapory ziemne, Arkady, Warszawa, 1973
- [7] Flaga K. Mosty – obiekty inżynierskie rozpięte ponad czasem i przestrzenią, cz. 1. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 5, 2011, ss.16-20
- [8] Kłosek K., Wielka Tama Trzech Przełomów na Jangcy. Największa hydroelektrownia świata. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 4, 2011ss.10-15
- [9] Radomski W., Katastrofy i awarie mostów a rozwój wiedzy budowlanej, cz. 1. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 4, 2011, ss.68-73

## Sukces przeprawy mostowej koło Kwidzyna

**Rok temu oddano do użytku most na Wiśle w okolicach Kwidzyna. Dla mieszkańców Dolnego Powiśla było to długo, bo ponad 20 lat wyczekiwane zdarzenie. Dzięki przeprawie mostowej miasto zyskało połączenie z drogą krajową nr 91, wojewódzką 231 i autostradą A1.**

Most wybudowany przez Budimex kosztował 360 mln złotych. Według statystyk przygotowanych przez Generalną Dyрекcyję Dróg Krajowych i Autostrad mostem przejechało już ponad 1,1 mln pojazdów. Średnio w ciągu doby przejeżdża przeprawą 3290 pojazdów, a średnie maksymalne natężenie w szczycie wynosi 300 pojazdów na godzinę. Największy ruch urządzenia odnotowano zaraz po otwarciu przeprawy. W pierwszy weekend skorzystało z niej 7 tysięcy pojazdów. Mieszkańcy cieszą się z przeprawy, a na budowę drugiej przeprawy przez Nogat czekają teraz malborczycy.



O tej ciekawej inwestycji pisano i mówiono już wiele, wciąż jednak wśród inżynierów temat cieszy się dużym zainteresowaniem, dlatego Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa wraz z Pomorską Okręgową Izbą Inżynierów Budownictwa przy współpracy z Politechniką Gdańską i Związkiem Mostowców RP – organizują 16 października br. symposium naukowe o budowie przeprawy mostowej przez Wisłę koło Kwidzyna. Chętni do udziału w tym symposium (uczestnictwo bezpłatne) powinni zgłosić do Biura Organizacyjnego POIIB, Al. Rzeczpospolitej 4/155 w Gdańsku.