



# Parkingi podziemne o ścianach konstrukcyjnych wykonanych z grodziec

Fot. 1. Parking podziemny w Bristolu, Wielka Brytania

O parkingach podziemnych o ścianach zewnętrznych z grodziec wspomniano już na łamach kwartalnika „Geoinżynieria. Drogi, mosty, tunele” (m.in. [8]). Do tej pory nie wykonano jednak w Polsce obiektu takiego typu. Co więcej, nawet tego poważnie nie rozważano. Wydaje się, że przyczyna takiego stanu rzeczy tkwi w istnieniu wielu mitów dotyczących grodziec. Tak się niestety składa, że dwa największe z nich – „o szybkim tempie korozji stali w gruncie” i „o bardzo małej nośności pionowej grodziec” – bezpośrednio rzutują na niechęć do ich zastosowania jako stałych elementów konstrukcyjnych parkingów podziemnych. W tym artykule postaram się przedstawić większość zagadnień związanych z tematyką parkingów podziemnych o ścianach wykonywanych z grodziec. Zdając sobie sprawę z faktu, że w tak krótkim tekście nie można dokładnie zreferować wszystkich aspektów technicznych wystarczająco dokładnie, podałem w bibliografii pozycje, w których można znaleźć więcej informacji.

## Korozja grodziec w gruncie

Pierwszym mitem, związanym z grodziecami, jest ich rzekomo bardzo szybka korozja w gruncie. Oczywiście nieprawdziwe jest też twierdzenie, że stal nie ulega korozji wcale. Trzeba postawić pytanie następującej treści: „Jak wielki jest ubytek korozyjny dla grodziecy pograżonej w gruncie?” Złożoność i zmienność zjawisk korozyjnych, zachodzących na styku grodziecy z gruntem, nie pozwoli nigdy na bardzo dokładną odpowiedź. Jednak na podstawie wyników wielu pomiarów, dokonanych na obiektach istniejących nawet od kilkudziesięciu lat, określono średnie ubytki korozyjne stali w zależności od rodzaju środowiska gruntowego. Ich wartości można znaleźć w Eurokodzie 3, część 5 [7]. W tabeli 4.1. tego Eurokodu (tabela

4.2. poświęcona jest ubytkom w środowisku morskim) zaproponowano, aby dopuszczalny ubytek korozyjny w gruntach naturalnych (zwiry, piaski, gliny, ropy) nienaruszonych, nad lub poniżej zwierciadła wody gruntowej, przyjmować na poziomie 0.6 mm na 50 lat użytkowania konstrukcji. Jak więc widać, w typowych warunkach gruntowych korozja nie stanowi dużego zagrożenia dla konstrukcji wykonanych z grodziec. Uwzględnienie w obliczeniach wpływu korozji polega na doborze grodziec o takich parametrach (geometria i gatunek stali), które po projektowanym czasie użytkowania zapewnią, że konstrukcja będzie spełniała warunki SGN i SGU. W doborze grodziecy pomocne okazują się specjalne wykresy, z których można odczytać zmianę wskaźnika wytrzymałości grodziecy w wyniku zmiany grubości jej ścianek. Karty z takimi wykresami można otrzymać od producenta grodziec.

## Nośność pionowa grodziec

Drugi mit dotyczy znikomej zdolności grodziec do przekazywania obciążeń pionowych na grunt. Tutaj, tak jak w przypadku korozji, prawda leży gdzieś pośrodku. W bardzo słabe grunty grodzieca rzeczywiście „wchodzi jak nóż w masło”. Ale często jest też tak, że bez rozluźnienia gruntu nie jest możliwe pograżenie grodziecy nawet przy użyciu ciężkiego sprzętu. Do głównych obszarów zastosowań grodziec jako elementów stałych, przenoszących obciążenia pionowe, należą przyczółki mostów o małej rozpiętości oraz ściany tuneli i parkingów podziemnych. Wyraźnie więc widać, że grodziec stosuje się tam, gdzie obciążenia pionowe z konstrukcji, które musi ona przenieść na grunt, są stosunkowo małe. Grodziec znajdują zastosowanie w miejscach, w których trzeba wykonać szczelną i estetyczną ścianę, zdolną jednocześnie przenieść obciążenia pionowe

z konstrukcji i poziome od parcia gruntu. Metody obliczania nośności pionowej grodzic [1] opracowano na podstawie porównania wyników badań in-situ sędami CPT, SPT i presjometrem Menarda oraz późniejszymi próbnymi obciążeniami grodzic [3]. Nośność ściany z grodzic jest sumą nośności poboczniczy i podstawy. Nośność podstawy wynika z istnienia korka gruntowego, powstającego pomiędzy ściankami profilu w trakcie jego pograżania. Powierzchnia takiego korka jest uzależniona od rodzaju gruntu zalegającego na głębokości podstawy grodzicy. Ideowe podobieństwo pomiędzy pracą obciążonej pionowo grodzicy a sposobem uzyskiwania wyników z wymienionych badań in-situ powoduje, że metody obliczania nośności grodzic oparte na ich wynikach są bezpieczne oraz wystarczająco dokładne. Dowodem na to niech będzie bezawaryjna praca setek obiektów na całym świecie, w których grodzice wykorzystano do przenoszenia obciążeń pionowych.

### Odporność ogniowa konstrukcji z grodzic

Wiele wątpliwości budzi także zachowanie się grodzic w trakcie ewentualnego pożaru na parkingu podziemnym. Takie obawy są uzasadnione, gdyż parametry mechaniczne stali zaczynają maleć wraz ze wzrostem jej temperatury. W trakcie ewentualnego pożaru temperatura grodzic nie będzie równa temperaturze rozgrzanego powietrza. Do określenia temperatury stali konieczna jest znajomość procesów zachodzących na styku gorącego powietrza, grodzicy i gruntu. Dotychczas brakowało wyników takich analiz. Wychodząc naprzeciw takim potrzebom, Dział Techniczny firmy Arcelor Commercial RPS dokładnie przeanalizował wyniki uzyskane w trakcie badań przeprowadzonych na Uniwersytecie Liege, Belgia [2, 6].

Eksperymenty przeprowadzono przy wykorzystaniu specjalnej komory (fot. 2.), w której można było symulować temperatury występujące w trakcie pożaru. W jednej ze ścian komory znajdował się otwór, który na czas badania był szczelnie zasłaniany przez fragment ścianki wykonanej z grodzic PU6. Grodzice te były z kolei jedną ze ścian stalowej skrzyni, którą przed badaniem wypełniano gruntem. W gruncie i na ściankach grodzicy mocowano kilkadziesiąt czujników temperatury.

Przeprowadzono w sumie 4 badania, wypełniając skrzynię piaskiem wilgotnym, piaskiem nasyconym wodą, ilem wilgotnym oraz ilem nasyconym wodą. W komorze odtwarzano temperaturę według krzywej normowego pożaru ISO. Temperatury grodzicy i gruntu rejestrowano, w trakcie symulowanych w komorze pożarów.

Dalsza część prac badawczych polegała na dokonaniu wstecznej analizy obliczeniowej otrzymanych wyników przy użyciu programów komputerowych typu MES. Na jej podstawie wyprowadzono wartości ciepła właściwego oraz przewodności cieplnej dla różnych gruntów. Aby uwzględnić wpływ cyrkulacji wody gruntowej w otoczeniu rozgrzanej grodzicy na odbiór i redystrybucję energii cieplnej, stworzono parametr o nazwie równoważnikowa objętość wody (ang. *Equivalent Water Content*, EWC), który jest funkcją współczynnika filtracji gruntu. Po wyprowadzeniu tych parametrów można było zająć się dalszą analizą już wyłącznie przy użyciu programów MES. W tak krótkim artykule nie jest możliwe poruszenie wszystkich aspektów tego programu badawczego. W skrócie można podać następującą zależność: im większy współczynnik filtracji w gruntach nasyconych wodą, tym (na skutek dobrej cyrkulacji wody i wymiany ciepła) mniejsza temperatura stali. W gruntach suchych występuje odwrotna zależność, gdyż grunty z dużymi ziarnami gruntowymi mają gorsze właściwości termiczne (mniejszą przewodność cieplną i ciepło właściwe). Opracowano także



Fot. 2. Specjalna komora do badania zależności między temperaturą gazów a temperaturą stali grodzicy [2]



Fot. 3. Budowa parkingu metodą stropową, Bristol, Wielka Brytania

metodę wstępnego sprawdzania nośności ścianki w warunkach obciążenia ogniowego. Wykorzystano w niej dopuszczoną w Eurokodzie 3, część 5 [7] możliwość powstania przegubów plastycznych i redystrybucji momentów w ścianie z grodzic.

W sytuacji, gdy istnieją obawy co do nośności ścianki w warunkach pożaru, można podjąć działania zwiększające odporność ogniową konstrukcji. Istnieje szeroki wachlarz możliwych rozwiązań. Główne z nich to: farby ognioochronne, montowanie na grodzicach płyt ognioochronnych, obmurowanie, wypełnienie wklęsłych fragmentów ścianki betonem lub całkowite zabetonowanie. Bardzo dobrym rozwiązaniem jest też zastosowanie aktywnych systemów ochrony przeciwpożarowej. Dobrze wykonany i konserwowany system zraszaczy będzie chronił nie tylko konstrukcję parkingu, ale jednocześnie ochroni życie i mienie ludzkie.

### Szczelność zamków

Jedną z głównych zalet, płynących z zastosowania grodzic jako ścian zewnętrznych parkingów podziemnych jest to, że na etapie budowy mamy szczelną obudowę wykopu. W celu zwiększenia tej szczelności można zastosować specjalne produkty uszczelniające, instalowane do zamka przed pograżaniem grodzic [4, 5]. W przypadku parkingu podziemnego zachodzi także konieczność trwałego i całkowitego uszczelnienia zamków. Dlatego warto rozpatrzyć także całkowite ich zaspawanie lub zastosowanie aplikowanego do zamków przed pograżeniem grodzic środka zwiększającego swą objętość pod wpływem wody, który firma Arcelor Mittal oferuje pod nazwą Roxan. Zaspawanie zamków ma większy sens szczególnie przy wykorzystaniu grodzic typu Z, gdyż ze względu na brak ścinania w zamkach, które znajdują się w skrajnych włóknach profilów, można wykonać spoiny nienośne.

## Budowa parkingu

Metody budowy parkingów podziemnych o ścianach zewnętrznych z grodzic nie różnią się od metod stosowanych przy budowie parkingów w innych technologiach. Można więc zbudować parking metodą tradycyjną, w której wykonuje się wykop rozpierając lub kotwiąc ściankę z grodzic, by później rozpocząć budowę parkingu zaczynając od najniższej jego kondygnacji. Można także wykonać parking metodą stropową, która polega na wykonaniu stropu nad najwyższą podziemną kondygnacją, betonując go na powierzchni terenu. Spod tak wykonanego stropu opartego po obwodzie na ścianie z grodzic, a w środku na wcześniej wykonanych tymczasowych lub stałych (fot. 5) słupach, usuwamy grunt przez pozostawiony w stropie otwór. Po jego wybraniu ponawiamy całą operację i wykonujemy strop kolejnej podziemnej kondygnacji (fot. 3). Oczywiście istnieje pewne różnice pomiędzy budową ścian parkingu z grodzic i innych materiałów. Pierwszą rzeczą, która zwraca uwagę na placu budowy, jest mała ilość osób (czasem jedynie 3) pracujących przy pograżaniu grodzic. Ma to, wraz z rosnącymi kosztami robocizny, coraz większe znaczenie. Do pograżania grodzic stosuje się zwykle w terenie zabudowanym urządzenia do statycznego wciskania grodzic lub wibromłoty o zmiennej częstotliwości drgań. Są to technologie szybkie i „czyste”. Przy użyciu sprzętu do wciskania grodzic można wykonać ścianę bezpośrednio w sąsiedztwie istniejących obiektów, co w połączeniu z małymi wysokościami przekrojów grodzic pozwala na zwiększenie powierzchni użytkowej parkingu. Duże znaczenie ma też to, że grodzice są składowane bezpośrednio na placu budowy i zajmują na nim mało miejsca. Po pograżeniu grodzic otrzymujemy szczelną obudowę wykopu, którą później – po wykonaniu stropów, uszczelnieniu zamków, piaskowaniu i pomalowaniu jej powierzchni – przekształcamy w estetyczną i tanią w konserwacji ścianę parkingu. Stropy mogą być połączone ze ścianą sztywno lub przegubowo. W połączeniu sztywnym zbrojenie stropu jest spawane do ścianki z grodzic. Natomiast połączenie przegubowe realizuje się, wykonując na ścianie wspornik, na którym opiera się betonowany na miejscu lub prefabrykowany strop. Wspornik taki może być żelbetowy (fot. 4) lub stalowy (wykonany na bazie dwuteownika). Warto zwrócić uwagę na fakt, że połączenie stropu z grodzicami w żaden sposób nie zmniejsza powierzchni ich przekroju poprzecznego.

### Przykład

Wybrany przykład parkingu podziemnego z grodzic jest konstrukcją wyjątkowo „elegancką”. Parking ten, o wymiarach w rzucie 80 x 90 m, został wybudowany metodą stropową w Bristolu, w Wielkiej Brytanii. Strop jest oparty po obwodzie na ścianie z grodzic oraz wewnątrz na rurowych stalowych słupach, do których przyspawano podparcia stropów (fot. 5). Słupy zostały osadzone we wcześniej pograżonych rurach obsadowych, z których wiertnicą usunięto grunt. Specjalnie przygotowane podstawy słupów były betonowane, a rura obsadowa – wyciągana i wykorzystywana ponownie przy umieszczaniu w gruncie kolejnych słupów. Tak więc strop był od razu podpierany na słupach stałych, które po wybraniu gruntu oczyszczono i pomalowano. Zrezygnowanie ze słupów tymczasowych ograniczyło czas wykonania inwestycji. Jak można zobaczyć na fot. 1, opisywany parking prezentuje się bardzo dobrze. Wnętrze jest jasne i przyjazne. Dzięki zastosowaniu grodzic i stalowych słupów o stosun-



Fot. 4. Żelbetowy wspornik do oparcia prefabrykowanego stropu



Fot. 5. Prefabrykowane stalowe słupy, Bristol, Wielka Brytania 1999

kowo małej średnicy uzyskano także dodatkową powierzchnię użytkową. Powyższy przykład pokazuje, że rozwiązania oparte na grodzicach są szybkie w wykonaniu, tanie w konserwacji i co także ważne – bardzo estetyczne.

## LITERATURA

- [1] Arcelor Commercial RPS: Le nouveau „Fascicule 62 titre V”; broszura; [http://www.arcelor.com/sheetpiling/Documentation/Files/ARPS\\_Fascicule\\_62.pdf](http://www.arcelor.com/sheetpiling/Documentation/Files/ARPS_Fascicule_62.pdf)
- [2] Arcelor Commercial RPS: Underground car parks: Fire resistance; broszura; [http://www.arcelor.com/sheetpiling/Documentation/Files/ACRPS\\_Fire\\_Resistance.pdf](http://www.arcelor.com/sheetpiling/Documentation/Files/ACRPS_Fire_Resistance.pdf)
- [3] Bustamante M., Gianceselli L.: Predicting the bearing capacity of sheet piles under vertical load; Proceedings of the 4th International Conference on Piling and Deep Foundations, Stresa (Italy), kwiecień 1991.
- [4] Kwarciański P.: „Wodoszczelność grodzic. Szczelność zamków”; Geoinżynieria. Drogi, mosty, tunele; 02/2006 (09)
- [5] Kwarciański P.: „Wodoszczelność grodzic – część II. Szczelność zamków”; Geoinżynieria. Drogi, mosty, tunele; 03/2006 (10)
- [6] Kwarciański P.: „Zachowanie się grodzic w trakcie pożarów na parkingach podziemnych”; Materiały XXX Zimowej Szkoły Geotechniki i Mechaniki Górotworu w Szklarska Poręba 2007; Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
- [7] EN 1993-5:2007.: Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 5: Piling; luty 2007
- [8] Ryż K., Urbański A.: „Nowe obszary zastosowań stalowych ścianek szczelnych – wybrane aspekty konstrukcyjne i obliczeniowe”; Geoinżynieria. Drogi, mosty, tunele; 03/2004(03).

autor **mgr inż. Paweł Kwarciański**  
Arcelor Commercial Long Polska