

dr inż. Wojciech Terlikowski*
mgr inż. Radosław Krzemiński*

Wykorzystanie kaszyc do wzmocnienia wzgórza zamkowego

Kaszycy to konstrukcje oporowe o przestrzennej strukturze. Stosowane są od ok. VIII wieku do umacniania skarp i zboczy, brzegów rzek, potoków i osuwisk, zapewniając stateczność stromym brzegom oraz chroniąc ich podstawę przed rozmyciem, szczególnie na tych odcinkach cieków, na których występuje niestateczność brzegu, wynikająca np. z jego pionowego ukształtowania. Konstrukcje kaszycowe były i są szczególnie zalecane na odcinkach brzegu, którego podcinanie zagraża stateczności znajdujących się w jego koronie konstrukcji obiektów budowlanych lub drzew. Kaszycy są stosowane również jako podpory mostów oraz stopnie wodne (zwane stopniami kaszycowymi lub progami kaszycowymi) przy melioracji i retencjonowaniu cieków wodnych lub rzek. Badania archeologiczne wykazują, że od początku były to konstrukcje drewniano-kamienne. Pierwotnie wykonywano je z kłód lub bali drewnianych, obecnie drewnianych, stalowych, a najczęściej żelbetowych elementów prętowych. Ich wnętrza wypełnia się zazwyczaj gruntem, materiałem kamiennym, kruszywem lub gruzem (współcześnie z rozbiórek konstrukcji żelbetowych lub murowych). Do wykonania szkieletu drewnianego kaszyc należy stosować drewno odporne na butwienie. Zaleca się wykorzystanie pni drzew twardych. Niezalecane jest stosowanie olchy i sosny. Średnica typowych bali drewnianych wynosi ok. 15 cm, ale może być nieco większa, jeśli wznosi się wyższe konstrukcje.

W przypadku, gdy wypełnieniem jest grunt, stosuje się nasadzenia z roślin, które po ukorzenieniu wzmocniają materiał wypełniający. Ułatwia to również odtworzenie roślinności na zdegradowanych skarpach, co w konsekwencji zwiększa odporność na erozję powierzchniową brzegu. Konstrukcji kaszycowych używano bardzo często jeszcze w XX w. Szczególnym ich zastosowaniem były konstrukcje podpór mostów drewnianych [1].

Ze względu na dużą odkształcalność wynikającą z konstrukcji, dającej im dużą odporność na nierównomierne osiadanie, kaszycy mogą być posadowione w strefie przemarzania gruntów, bez konsekwencji destrukcyjnych [2]. Współczesne kaszycy wykonywane są często z żelbetu, rzadziej ze stali i drewna. Mają one charakter ekonomicznych konstrukcji prefabrykowanych. Elementy żelbetowe stanowią 10 – 15% całej konstrukcji.

Współczesne konstrukcje drewniane kaszyc mają charakter rozwiązań systemowych [3] i są wykonywane do wysokości nawet 15 m. Elementy konstrukcji minimalnie się odkształcają. Po wyprodukowaniu są one ciśnieniowo nasączone środkiem ochronnym CCA, w celu uodpornienia przeciw owadom i grzybom. Zapewnia to przydatność użytkową nawet do ponad 125 lat. Kaszycy skutecznie tłumią hałas, a także mają walory estetyczne (mogą być porośnięte pnączami lub kwiatami).

* Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

Wzgórze zamkowe w Sochaczewie

Zabytki znajdujące się w stanie „trwałej ruiny”, przed podjęciem działań konserwatorskich i budowlanych (w tym remontowych), wymagają dokładnej diagnostyki, uwzględniającej ich specyfikę [4, 5]. Przykładem takiego zabytkowego obiektu budowlanego są ruiny zamku w Sochaczewie. Historia wzgórza zamkowego rozpoczęła się w XIII wieku, kiedy to książę Konrad I Mazowiecki wznosił drewniano-ziemną warownię Piastów Mazowieckich. Była ona siedzibą kasztelanii sochaczewskiej. Pierwszy murowany zamek ufundowany został w XIV wieku, prawdopodobnie przez księcia Siemowita III Starszego. Od 1475 r., gdy zamek przeszedł we władanie Korony Królestwa Polskiego, stał się siedzibą starosty grodowego oraz stacją królewską. Na przełomie XV i XVI wieku zamek uległ przebudowie i usypane zostały z trzech stron wały ziemne. W 1656 r., podczas najazdu szwedzkiego zamek uległ zniszczeniu i pozostawał w ruinie do 1786 r. Dokonano wówczas jego częściowej odbudowy, ale w 1794 r., podczas insurekcji kościuszkowskiej, został ostatecznie zniszczony. Od tamtej pory pozostawał w ruinie i wraz ze wzgórzem podlegał ciągłej degradacji. Badania wykazały, że wzgórze, będące właściwie nasypem ziemnym, podlegało wielokrotnym reprofilacjom i wzmocnieniom, wynikającym z jego niestateczności i degradacji. Główną przyczyną jego destrukcji były oddziaływania klimatyczne i środowiskowe, w tym opady deszczu, powodujące erozję powierzchniową i wgłębnią. W 2008 r. zaprojektowano, a w 2013 r. wykonano wzmocnienie wzgórza zamkowego przez wykorzystanie gwoździ gruntowych, ściany oporowej w konstrukcji kaszycowej oraz nasypów zbrojonych geosyntetykami.

Zastosowane rozwiązania

Na podstawie badań geotechnicznych i archiwalnych badań archeologicznych ustalono, że na terenie wzgórza zamkowego występują nasypy o różnej miąższości, od 1,6 do 7,5 m. Nasypy zbudowane są głównie z gruntów piaszczystych (piaski i piaski pylaste). Podłoże naturalne stanowią piaski gliniaste, gliny piaszczyste oraz lokalnie piaski pylaste. Swobodne zwierciadło wody gruntowej nawiercono u podstawy wzgórza, od strony północnej i zachodniej, na głębokości odpowiednio 1,5 m (skarpa północna) oraz 2,0 m p.p.t. (skarpa zachodnia). Nasypy zbrojone geosyntetykami, jako zabezpieczenie przeciwozyjne, zastosowano na skarpie północnej, zachodniej oraz w południowo-wschodnim narożniku wzgórza. Miało to na celu odsunięcie ruin zamku od krawędzi skarpy, dociążenie podstaw skarp istniejących, a przez to zwiększenie stateczności wzgórza. Na skarpie zachodniej zaprojektowano dobudowanie nasypu zbrojonego geosyntetykami na całej wysokości skarpy. Ze względu na występowanie gruntów słabych w podstawie skarpy, zaprojektowano posadowienie nasypu zbrojonego na palach żelbetowych.

W podstawie nasypu, pomiędzy głowicami pali a pierwszą warstwą zbrojenia, postanowiono dodatkowo wykonać materiał z kruszywa łamanego, którego zadaniem jest poprawienie współpracy nasypu z fundamentem palowym, a także zabezpieczenie nasypu przed potencjalną erozją podczas wystąpienia wody z koryta rzeki (rzędna wody stuletniej sięga podstawy nasypu).

W narożniku południowo-wschodnim, w celu zwiększenia odległości pomiędzy murami zamku a skarpą wzgórza, zaprojektowano obudowanie narożnika nasypem z gruntu zbrojonego. Ze względu na ograniczenie przestrzenne (sucha fosa w podstawie skarpy) zrezygnowano z łagodnie nachylonej części niezbrojonej w koronie skarpy. Nasyp zbrojony ma nachylenie 1 : 1,5, wysokość 8,5 m i średnią długość ok. 20 m.

Ze względu na ograniczenia przestrzenne po północnej stronie wzgórza (brak możliwości zajęcia sąsiednich działek oraz występowanie miejskiego kolektora kanalizacyjnego), u podstawy skarpy północnej wykonano ścianę kaszycową, zmiennej wysokości, utrzymującą uskok naziomu od 0,8 do 7,0 m. Jest to konstrukcja kaszycowa drewniana, jednorzędowa, wypełniona kruszywem (fotografia 1). Skarpa północna, ze względu na niedostateczną stateczność ogólną, przed przystąpieniem do prac związanych ze wzniesieniem ściany oporowej oraz nasypu z gruntu zbrojonego, została wzmocniona przez wykonanie gwoździ gruntowych. Zaprojektowano gwoździe o nachyleniu 10° do poziomu, w rozstawie 1,5 m w poziomie i w pionie. Zadaniem gwoździ gruntowych było tymczasowe wzmocnienie skarpy przed wykonaniem ściany oporowej oraz jej dodatkowe zakotwienie (po wydłużeniu) w gruncie rodzimym. Pod głowicami gwoździ, na powierzchni skarpy istniejącej, zaprojektowano i wykonano płyty drogowe typu IOMB, w celu rozłożenia naprężeń w gwoździu na powierzchnię skarpy. Nasyp zbrojony geosyntetykami, w postaci geotkanin poliestrowych, wzniesiono od korony ściany oporowej do rzędnej 90,5 m n.p.m., powyżej której wykonano nasyp niezbrojony, o nachyleniu 1 : 2,5. Nasyp niezbrojony, o łagodnym nachyleniu, ma na celu umożliwienie swobodnego prowadzenia prac archeologicznych lub budowlanych na koronie wzgórza w przyszłości.

Ścianę kaszycową wzniesiono z prefabrykowanych elementów drewnianych, poprzecznych i podłużnych. Przy koń-



Fot. 1. Widok fragmentu kaszycy

cach elementów poprzecznych znajdują się nacięcia szerokości równej szerokości elementu podłużnego, które służą do wykonania połączeń ciesielskich elementów poprzecznych z podłużnymi. Wznoszenie ściany polegało na naprzemiennym układaniu elementów poprzecznych i podłużnych (fotografia 2) wraz z sukcesywnym wypełnianiem kaszycy materiałem zasypowym (fotografia 3). W efekcie powstała drewniana skrzynia wypełniona kruszywem mineralnym. Długość ściany oporowej wynosi 79,8 m, szerokość kaszycy 1,65 m, a nachylenie ściany to 4 : 1. Ściana oporowa posadowiona została na żelbetowym fundamencie bezpośrednim. Za podstawą ściany ułożono rury drenarskie w obsypce żwirowej, w osłonie z geowłókniny filtracyjnej. Zadaniem drenu jest odprowadzenie wody gruntowej z zasypu niespoistego, w przestrzeni pomiędzy ścianą oporową a powierzchnią skarpy istniejącej. W zasypie, za ścianą oporową, przewidziano ułożenie dwóch (lokalnie trzech) warstw zbrojenia, w postaci geotkaniny o wytrzymałości charakterystycznej $F_k \geq 150$ kN/m, w celu zredukowania parcia zasypu na ścianę oporową. Powyżej ściany oporowej zaprojektowano nasyp zbrojony o nachyleniu 1 : 1 (fotografia 4).

Stateczność ściany oporowej analizowano przez założenie zastępczej bryły gruntu spoistego, zakotwionej w masywie wzgórza, za pomocą przedłużonych gwoździ gruntowych. W przyjętym modelu obliczeniowym ściana kaszycowa stanowi zatem jedynie oblicowanie skarpy zbrojonej gwoździami gruntowymi. Stateczność ściany oporowej sprawdzono



Fot. 2. Układanie warstw elementów kaszycy



Fot. 3. Zасыпка kruszywem przestrzeni w kaszycy

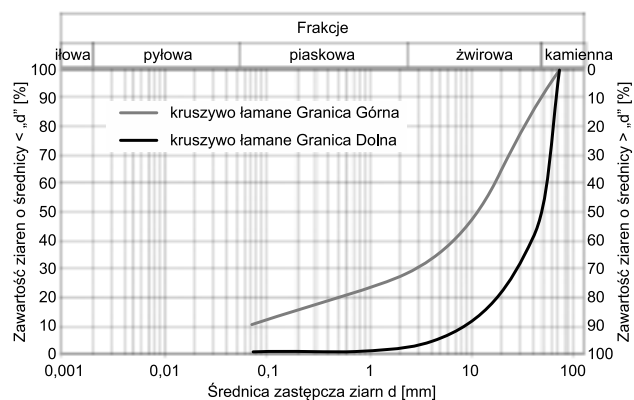


Fot. 4. Widok na kaszycę i wzgórze zamkowe – w czasie prac wykończeniowych

przez analizę kołowych oraz łamanych powierzchni poślizgu. W obliczeniach przyjmowano zarówno wymuszone powierzchnie poślizgu w podstawie ściany i na połączeniu ze skarpią istniejącą, jak również zoptymalizowane powierzchnie poślizgu, o najniższym możliwym współczynniku stateczności. Założono obciążenie ściany nasypem zbrojonym, obciążeniem stałym od ruin zamku (tam, gdzie występują) oraz obciążeniem użytkowym 15 kPa. Analizy przeprowadzono w czterech przekrojach charakterystycznych, uzyskując współczynniki stateczności $F > 1,5$. Stateczność ściany kaszycowej zapewniona jest dzięki zakotwieniu ściany w masywie wzgórza za pomocą gwoździ gruntowych oraz dzięki ciężarowi ściany przeciwdziałającemu siłom wywracającym. Elementy kaszyc wykonane zostały z drewna sosnowego, impregnowanego związkami miedzi (CCA), metodą próżniowo-cisnieniową. Wymagane charakterystyczne parametry wytrzymałościowe drewna do konstrukcji kaszyc są następujące:

- wytrzymałość na zginanie wzdłuż włókien, $f_b \geq 14,8$ MPa;
- wytrzymałość na ściskanie wzdłuż włókien, $f_c \geq 12,7$ MPa;
- wytrzymałość na ściskanie prostopadle do włókien, $f_p \geq 5,3$ MPa;
- wytrzymałość na rozciąganie równoległe do włókien, $f_t \geq 8,9$ MPa;
- wytrzymałość na ścinanie, $f_s \geq 2,4$ MPa;
- moduł sprężystości, $E \geq 6,5$ GPa.

Kaszycę wypełniono kruszywem łamanym, wg odpowiednich krzywych uziarnienia (rysunek). Ścieralność kruszywa oznaczona w bębnie Los Angeles [6] powinna być nie większa niż 50. Ścianę oporową wznoszono warstwami po trzy rzędy, z tym że jeden rząd stanowi komplet elementów poprzecznych i podłużnych. Po wzniesieniu trzech rzędów ka-



Krzywe uziarnienia dla konstrukcji kaszyc

szczy, przestrzeń za ścianą oporową wypełniano gruntem zasypowym i starannie zagęszczono do wymaganego wskaźnika zagęszczenia. Po wypełnieniu przestrzeni za ścianą, wypełniono wewnątrz kaszycy kruszywem i zagęszczono je. Jednocześnie ze wznoszeniem ściany oporowej układano zbrojenie zasypu.

Podsumowanie

Technologia wykonywania kaszyc drewnianych znana jest od wieków i sprawdzona w wielu różnorodnych realizacjach. Kaszycy są konstrukcjami bardzo ekonomicznymi pod względem materiałowym i nie wymagają wysoko wykwalifikowanych wykonawców. Są stabilne i proste w sensie konstrukcyjnym, co gwarantuje łatwość różnicowania ich wysokości, przy dostosowaniu do nierówności terenu. Kaszycy są odporne na podmywanie, zapewniają dobre odwodnienie zasypki, co umożliwia ich stosowanie do stabilizowania osuwisk. Konstrukcje drewniane są ekologiczne, a ze względu na dużą możliwość odkształcania znakomicie zastępują betonowe umocnienia brzegów rzek, strumyków cieków wodnych. Mają zalety konstrukcji prefabrykowanych, takie jak szybkość i prostota montażu na budowie, możliwość produkcji elementów konstrukcyjnych w wytwórniach w sposób przemysłowy, niezależność od warunków klimatycznych i atmosferycznych. Kaszycy bardzo dobrze nadają się do zabezpieczenia osuwisk i wzgórz w bezpośrednim sąsiedztwie zabytkowych obiektów budowlanych podlegających ochronie konserwatorskiej. Szczególną zaletą takich konstrukcji jest także możliwość obsadzenia ich roślinnością pnącą, która podkreśla walory historyczne kompleksu zabytkowego. Kaszycy drewniane, wykorzystane jako masywna ściana oporowa, do wzmocnienia wzgórza zamkowego w Sochaczewie, bardzo dobrze komponują się z zabytkiem pozostającym w stanie stałej ruiny. Przy ich wykorzystywaniu należy jednak uwzględnić czynnik społeczny. Konstrukcja kaszyc znajdujących się w miejscu publicznym może być wykorzystywana jako ściana wspinaczkowa, co w konsekwencji może być źródłem wypadków. Implikuje to konieczność stałego monitoringu (wideo) konstrukcji oraz odpowiedniego jej oznakowania tablicami informacyjnymi oraz ostrzegającymi.

Artykuł powstał w ramach badań statutowych nr 504P 1088 4053 na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej.

Fotografie: Radosław Krzemiński

Literatura

- [1] Alkhafaji Th., Zobel H., Mosty drewniane – konstrukcje przełomu XX i XXI wieku, Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2006.
- [2] Zamiar Z., Surowiecki A.: Przykłady szybkich technologii odbudowy infrastruktury transportowej w sytuacjach kryzysowych, Zeszyty Naukowe. Logistyka i Transport, Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu, ISSN 1734-2015, Wrocław 2005, T. 1.
- [3] Phi Group Ltd: Permacrib Retaining walls, materiały informacyjne; <http://www.phigroup.co.uk/solutions/permacrib-timber-crib-retaining-walls>.
- [4] Terlikowski W.: Aspekty techniczne i inżynierskie konserwacji starożytnych konstrukcji murowych jako trwałej ruiny, Miesięcznik Materiały Budowlane 11/2013 (nr 496), Warszawa 2013.
- [5] Terlikowski W.: Rola badań w procesie rewitalizacji budynków zabytkowych, Miesięcznik Materiały Budowlane 8/2013 (nr 493), Warszawa 2013.
- [6] PN-B-06714-42:1979 P: Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczenie ścieralności w bębnie Los Angeles.