

Jerzy Jasieńko*, Lech Engel**, Adam Kondolewicz**

Problemy konstrukcyjno-konserwatorskie w stabilizacji i ekspozycji ruin obiektów kamiennych na przykładzie Zamku „Lenno” we Wleniu

Structure and reconstruction problems during stabilization and presentation of ruins of stone structures with an example of “Lenno” castle in Wleń

1. Wprowadzenie

W pracy podjęto problem stabilizacji i ekspozycji ruiny XIII wiecznego zamku położonego na wysokiej górze w pobliżu miasta Wleń. Murowany zamek książęcy został wzniesiony w 2 połowie XIII wieku, jako silna twierdza wyróżniająca się wśród istniejących jeszcze w XIII wieku grodów drewniano – ziemnych. Zamek obronny w XIV wieku przeszedł w ręce rodów rycerskich, był w późniejszych wiekach rozbudowywany i przebudowywany, kilkakrotnie zdobywany i niszczony, a w 1653 roku został opuszczony, co spowodowało jego zniszczenie.

Zamek wzniesiony z kamienia na szczycie wysokiego i stromego skalistego wzgórza, został założony na planie nieregularnym przystosowanym do ukształtowania skalistego plateau, z cylindryczną wolnostojącą wieżą w części południowo-wschodniej. Wokół obszernego dziedzińca zamku zachowały się fragmenty ścian wznoszące się 1-3 m ponad poziom terenu. Zachowały się również wysokie kamienne mury obronne otaczające zamek, posadowione na stromych skałach (rys. 1, rys. 2).

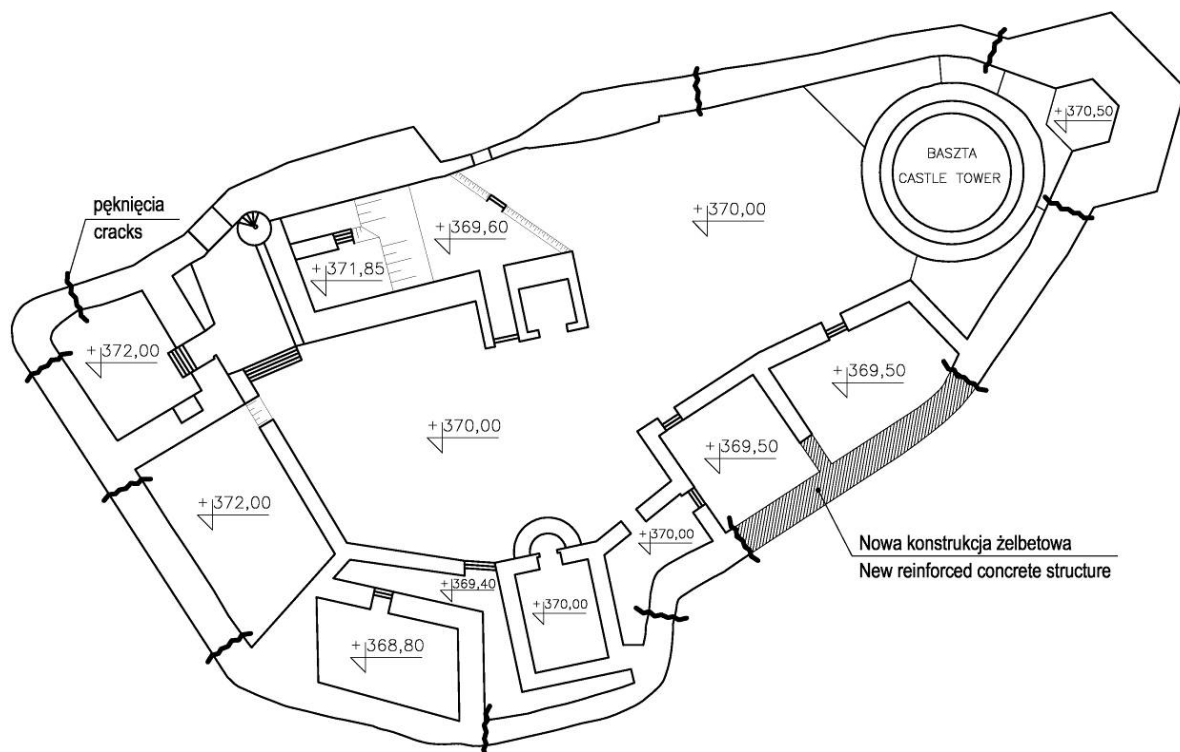
Wiosną 2006 roku fragment obronnego muru południowo-zachodniego runął na długości około 17,0 m.

1. Introduction

In hereby document a problem of stabilization and presentation of ruins of the 13th century castle located on a high rock near the city of Wleń has been discussed. A duke castle was erected in the second half of the 13th century as a strong fortress, very different from still existing in the 13th cent. wood-earth castle-towns. In the 14th century, the fortified castle become a property of noble families, and it was further upgraded and reconstructed in the subsequent centuries; it was raided and rebuilt few times and finally abandoned in 1653, which led to its deterioration.

The castle was erected of stone on the top of a high and steep hill, based on an irregular plan, suitable for rocky plateau layout, with a cylindrical detached tower in south-east area. Around the huge castle courtyard there are parts of walls remaining, ascending 1-3m over the ground. There are high outer stone walls preserved as well, standing on steep rocks (fig. 1, fig. 2).

In spring 2006, a part of the southern-western fortification wall fell down at the length of approx. 17.0 m.



Rys. 1. Plan ideowy murów obwodowych zamku
 Fig. 1. General layout of castle outer walls plan



Rys. 2. Widok kamiennych murów obwodowych zamku
 Fig. 2. View of outer stone walls of the castle

2. Opis stanu muru i mechanizmu zniszczenia jego fragmentów

Ruiny zamku, jak i rezerwat leśny na stokach wzgórza zamkowego były do 2006 r. ogólnie dostępne. W 2005 r. na terenie zamku prowadzono badania archeologiczne w wykopach, w tym przy południowo-zachodnim fragmencie muru obwodowego. Plateau zamkowe nie ma systemu odprowadzenia wód opadowych. Wody te wsiąkały bezpośrednio w grunt i sączyły się po powierzchni skał do podnóża murów posadowionych znacznie poniżej poziomu dziedzińca zamku. Wody te w dolnej partii murów wypłukiwały ze spoin zaprawę oraz znacząco przyśpieszały procesy starzeniowe zaprawy oraz zmniejszanie jej wytrzymałości. Procesy te trwały wiele lat.

Konsekwencją zawilgocenia dolnej partii muru obronnego oraz zniszczenia zaprawy w tej partii, było wiosną 2006 r. runięcie muru obronnego południowo-zachodniego na długości około 17,0 m, wraz z klinem odłamu gruntu i zachowanymi fragmentami ścian zamku na tym klinie.

Mechanizm runięcia muru (rys. 3) polegał na zsunięciu się tej partii muru ze skały, w wyniku naporu gruntu i w konsekwencji zniszczenia zaprawy (w dolnych partiach), która utraciła zdolność wiązania kamieni o nieregularnym kształcie i muru obwodowego z podłożem skalnym.

Fragment muru, o dużej wysokości wynoszącej 14,0 m, wraz z klinem

odłamu gruntu i zachowanymi fragmentami ścian poprzecznych zamku, zsunął się po skałach znajdujących się poniżej muru i po stromym stoku góry porośniętym drzewami, zasypując drogę spacerową w parku.

3. Przyjęte rozwiązania konstrukcyjne

Odtworzenie muru kamiennego, który uległ zawaleniu, przy tak dużej wysokości i znacznym naporze gruntu nie wydawało się celowe. Optymalnym rozwiązaniem było zaprojektowanie żelbetowej ściany oporowej (rys. 4), obłożonej z zewnątrz na całej

2. Description of condition of walls and mechanisms of its deterioration

Castle ruins and the forest conservation on the slopes of castle hill were open for public until 2006. In 2005 there was an archeological dig site in the area of the castle, including near south-west part of outer wall. Castle plateau has no system for precipitation water draining. This water was sinking into the ground and along the surface of the rocks to base of walls located below the courtyard of the castle. Those waters rinsed out mortar from the joints and sped up the erosion process of the mortar and lowered its endurance. Such processes continued for many years.

As a consequence of water in the lower part of castle wall and destruction of mortar in this area, in spring 2006, the south-west wall went down, at the length of approx. 17.0 m, together with a large chunk of the ground with remaining wall parts on it.

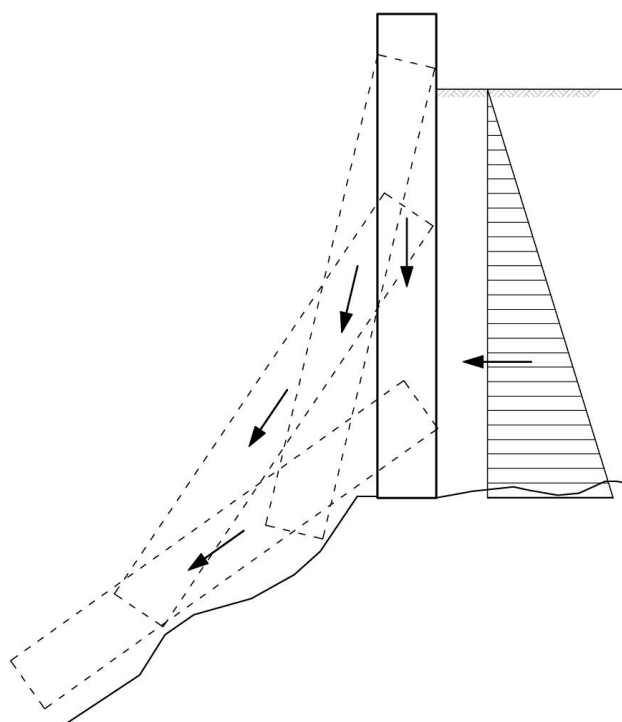
Mechanism of wall going down (fig. 3) was that this part of the wall slid from the rock due to ground pushing and destruction of mortar (in lower parts) which lost its ability to bind irregular stones and outer wall with rock base.

A part of the wall, 14.0 m high, together with a chunk of ground with parts of transverse walls went

down the rocks below the wall and steep hill slope overgrown with trees, covering a walking park path.

3. Used construction solutions

Reconstruction of the destroyed stone wall, with such height and massive ground pushing did not seem intentional. An optimal solution was to design a reinforced concrete retaining wall (fig. 4), with facing made of stones recovered from the rubble.



Rys. 3. Ideowy mechanizm zniszczenia fragmentu kamiennych ścian obwodowych

Fig. 3. Presentation of mechanism which destroyed a section of outer stone walls

wysokości i od strony wewnętrznej warstwą kamieni uzyskanych z gruzowiska po zawalanej ścianie.

Brak precyzyjnego rozpoznania posadowienia kamiennego muru obwodowego, który uległ katastrofie oraz niemożność rozpoznania przebiegu podłoża pod kamiennym gruzowiskiem, spowodowały konieczność przyjęcia do projektowania, hipotetycznego założenia przebiegu geometrii powierzchni skały. Przy tak przyjętym założeniu zaprojektowano żelbetową ścianę oporową, posadowioną na podłożu skalnym, o płycie fundamentowej kształtem dopasowanej do hipotetycznego przebiegu skały w podłożu. Ścianę zaprojektowano jako płytowo-kątową, dodatkowo stabilizowaną w górnej partii kotwami stalowymi mocowanymi w bloku betonowym zagłębionym w gruncie pod centralną częścią dziedzińca zamku.

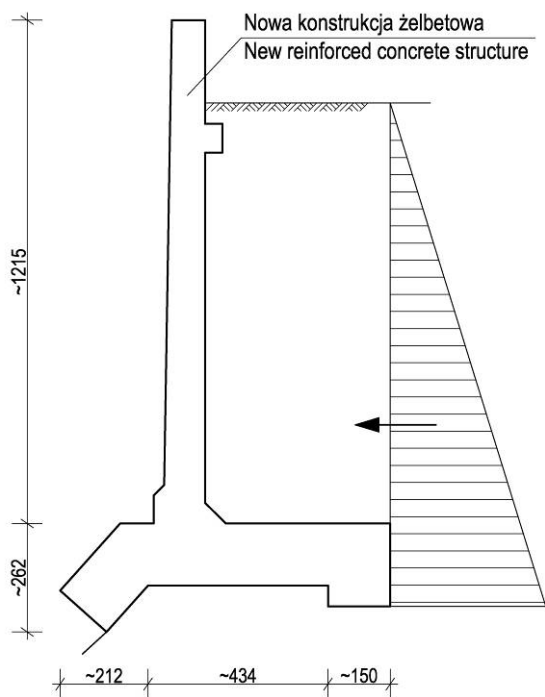
Trudne i niebezpieczne prace przy oczyszczaniu gruzowiska oraz usuwaniu gruntu i częściowym rozkuwaniu skały, celem stworzenia przestrzeni do posadowienia ściany oporowej, były prowadzone poniżej pionowej skarpy o znacznej wysokości. Skarpa była prowizorycznie zabezpieczana i stabilizowana prętami stalowymi, siatkami stalowymi i obetonowaniem, co miało zapewnić bezpieczeństwo w trakcie prowadzenia prac, szczególnie z uwagi na drgania wywołane przy rozkuwaniu skały.

Po odsłonięciu podłoża skalnego, w poziomie projektowanego posadowienia ściany oporowej, stwierdzono znaczną rozbieżność między przyjętymi hipo-

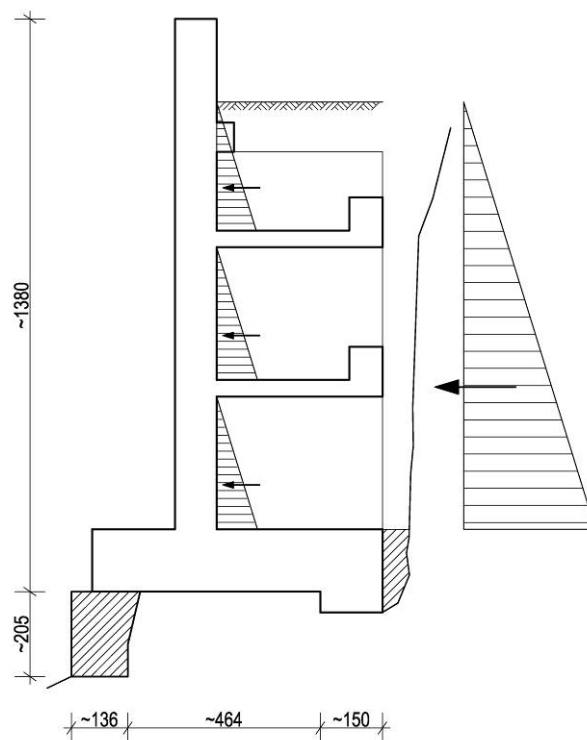
Lack of precise knowledge of outer stone wall basing and with no possibility to recognize the layout of base under the stone rumble, caused us to use for the design a hypothetical assumption of geometry inside of the rock. A reinforced concrete retaining wall has been designed with such assumption, with foundation slab matching the hypothetical layout of rocks under the ground. The wall has been designed as a slab-angle one, stabilized additionally in the upper part with steel anchors in a concrete block immersed in the ground under the central part of castle courtyard.

Difficult and dangerous works with rumble cleaning and ground removal with partial rock removal, in order to make space for retaining wall base, have been performed under the high vertical slope. Slope has been temporarily stabilized with steel rods, steel mesh and concrete works, which was supposed to provide safety during the works, due to tremors caused by rock removal works.

After the rock underbed has been exposed, at the level of designed retaining wall base, a considerable difference between hypothetical assumptions and actual state has been discovered. Rock slope has been much higher than assumed beforehand and there was no way to remove rock so that a rock shelf would be



Rys. 4. Wstępnie przyjęty schemat odtwarzanego fragmentu murów obwodowych (konstrukcja żelbetowa)
Fig. 4. Preliminary layout of reconstructed section of outer walls (reinforced concrete)



Rys. 5. Ostatecznie przyjęty schemat odtwarzanego fragmentu murów obwodowych (konstrukcja żelbetowa)
Fig. 5. Final layout of reconstructed section of outer walls (reinforced concrete)

tetycznie założeniami, a stanem istniejącym. Spadek skały był znacznie większy niż założono, a półki skalnej pod fundament nie można było wykuć w skałę na pełną długość ściany, z uwagi na zagrożenie prowizorycznie utwierdzoną skarpią.

W tej sytuacji przeprojektowano żelbetową ścianę oporową na płytowo-żebrową z płytami odciążającymi (rys. 5), co zmniejszyło napory gruntu na ścianę i pozwoliło zmniejszyć wysięg płyty fundamentowej w skrajnych partiach ściany. Ścianę dodatkowo w dolnej partii stabilizowano pionowymi i poziomymi kotwami stalowymi, wklejanymi w skałę przy użyciu kompozycji żywicy epoksydowej. Celem oparcia zewnętrznej części fundamentu ściany na skałę, zaprojektowano wykucie półek na całej długości fundamentu w opadającej skarpię skały. Zdecydowano o wykonaniu bloków betonowych, zbrojonych siatkami stalowymi, pod zewnętrzną część fundamentu skały.

4. Zabiegi dotyczące stabilizacji konstrukcji kamiennych murów obwodowych. Badania zapraw historycznych spoin oraz kamienia

Za główną przyczyną destabilizacji fragmentów murów obwodowych uznano migrację (zamarzanie i tajanie) wód opadowych przesiąkających do poziomu posadowienia murów na górotworze.

Zdecydowano o ujęciu wód opadowych z powierzchni dziedzińca i z pozostałości podziałów zamku, przez założenie drenażu według systemu Platon DE 25 firmy ISOLA. Drenaż przejmując i odprowadzając wody opadowe, uniemożliwi ich wsiąkanie w grunt i sączenie się po skałach oraz zawilgocenie i niszczenie dolnych partii kamiennych murów obwodowych. Przyjęty system ma zdolność do magazynowania nadmiaru wody gruntowej, co jest istotne w wypadku zamku położonego na skalnym wzniesieniu. Pozwoli to na utrzymanie na dziedzińcu zamku roślinności, bez konieczności częstego nawodnienia, stanowiącej tło dla ekspozycji relikwów kamiennych zamku w tzw. stylu angielskim.

Jednym z ważnych problemów stabilizujących mury ruin obiektów kamiennych jest właściwa obróbka (zabezpieczenie) korony murów.

W obiektach historycznych muszą być tu zachowane właściwe proporcje pomiędzy kulturą i architekturą a rozwiązaniem o charakterze technicznym i konserwatorskim. Jakkolwiek możliwe jest wprowadzenie zabezpieczeń nakrywających korony murów w oparciu o obce historycznym materiały i formy (tymczasowe lub wynikające z kreacji architektonicznej) to zwykle jednak pozostawienie koron murów w zachowanym kształcie i formie jest rozwiązaniem najbardziej przystającym do zasad do-

created along the whole wall length due to danger caused by temporarily made slope.

Thus a reinforced concrete retaining wall has been redesigned to contain additional retaining slabs (fig. 5), which lowered the pressure caused by ground and allowed to narrow the dimensions of foundation slab in extreme parts of wall. The wall has been additionally stabilized with vertical and horizontal steel anchors, glued into rock with an epoxy composition. In order to stand an outer part of wall foundation on the rock, shelves have been designed along the whole length of the foundation on the lowering slope of the rock. It has been decided to make concrete blocks, reinforced with steel mesh, under the outer part of rock foundation.

4. Actions concerning the stabilization of stone structure of outer walls. Examination of historical joints and stone

The main reason for destabilization of parts of outer wall was the migration (freezing and thawing) of precipitation waters sinking to the level of wall basing.

A new draining system for precipitation waters for the surface of the courtyard and remaining parts of the castle has been chosen. It was Platon DE 25 system of ISOLA. By taking and draining of rainwater the system shall make it impossible for them to enter the ground and travel along the rocks which leads to deterioration of lower parts of stone outer walls. The used system has the capability to store the excess of ground water, which is very important for a rock based castle. It makes it possible to keep plants in the courtyard, without a watering system, which shall provide a background for presentation of stone ruins of the castle (so called English style)

One of the most important problems of stabilization of castle stone walls is the proper protection of the head of the walls.

In historical sites there must be an adequate proportion between culture and architecture and technical and restoration solutions. However, it is possible to use protection covering the upper parts of the walls which would be alien in terms of historical materials and forms (temporal or architectural designs) usually it is advisable to leave the heads of walls in historical form, due to assumed restoration doctrine. With this solution, it is important to protect heads of walls

tryny konserwatorskiej. W tym rozwiązaniu za ważne należy uznać takie zabezpieczenie koron murów by migracja wody opadowej do ich wnętrza (mury trójwarstwowe – stone three-leaf-wall) była ograniczona lub niemożliwa. Wydaje się iż rozwiązania należy tu szukać w zastosowaniu polimerozapraw na spoiny warstw kamiennych koronowych. W tym celu rozpoczęto w Instytucie Budownictwa Politechniki Wrocławskiej program badawczy obejmujący badania materiałów kamiennych łączonych przy użyciu zapraw polimerowych wytworzonych na bazie żywic syntetycznych różnych typów. Połączenia poddawane są rygorystycznym cyklom zamrażania. Badane i określane są wartości naprężeń ścinających oraz naprężeń odrywających. Osobnym problemem jest tu technologia obróbki koron murów przy użyciu zapraw polimerowych a także obróbka estetyzująca spoin, ważna z konserwatorskiego punktu widzenia.

Najważniejszym elementem na obecnym etapie jest stabilizacja konstrukcji murów obwodowych zamku. Badania obiektu wskazały wydzielenie kolejnych odcinków murów (poza odcinkiem, który uległ zawaleniu) poprzez dysintegrację penetrującą zarysowanie.

Przyjęto następujące rozwiązania stabilizujące:

- zabezpieczenie w obszarach przebiegu zarysowań poprzez wprowadzenie taśm CFRP mocowanych do ściany poprzez spoinę klejową wytworzoną na bazie żywic epoksydowych oraz podkład wykonany w systemie Ruredil (siatki węglowe, zaprawa mineralna) z równoczesną iniekcją ciśnieniową zarysowań kompozycjami na bazie żywic epoksydowych. Dodatkowo wprowadzono tu opasujące mury wiotkie ciągną ze splotów stalowych. Wstępne sprężenie i zakotwienie cięgien zaprojektowano w odtworzonym żelbetowym fragmencie murów obwodowych (rys. 6),
- wprowadzono wieniec obwodowy, żelbetowy, zewnętrzny, częściowo ukryty w murze kamiennym w poziomie oparcia murów na skale w celu wyeliminowania mechanizmu zniszczenia kolejnych odcinków murów zbliżonego do pokazanego na rys. 3. Wieniec zakotwiono w skale poprzez kotwy stalowe wklejane, rozprężne,
- na fragmentach murów o znacznych ubytkach spoin i deformacji z płaszczyzny zaprojektowano wzmocnienie powierzchniowe przy użyciu splotów z włókien węglowych mocowanych i napinanych poprzecznie do murów przy użyciu kotw stalowych wklejanych, rozprężnych (rys. 6b), ukrytych w spoinach,
- ważnym elementem w stabilizacji konstrukcji zamku jest odtwarzany fragment murów o konstrukcji żelbetowej. Przewidziano estetyzację tego fragmentu poprzez okładzinę kamienną o wątku pierwotnym z zachowanego oryginalnego materiału kamiennego (rys. 7),

so that migration of rainwater inside of them (stone three-leaf-wall) was limited or impossible. The solution seems to be using new joints for head wall stones – polymer mortars. Institute of Building Engineering of Wrocław University of Technology has started a research program covering stone materials joined with polymer mortars based on synthetic epoxy. Joints have undergone extensive freezing tests. Values of pressure and tearing stress are measured and defined. An additional problem is the technology of final works with the polymer mortars for wall heads, and esthetical works with joints, important from the point of view of reconstruction works.

The most important element at the present phase is the stabilization of castle outer walls structure. The examinations of the structure have shown a separation of further parts of the wall (besides the one that collapsed) due to disintegration penetrating the crevice.

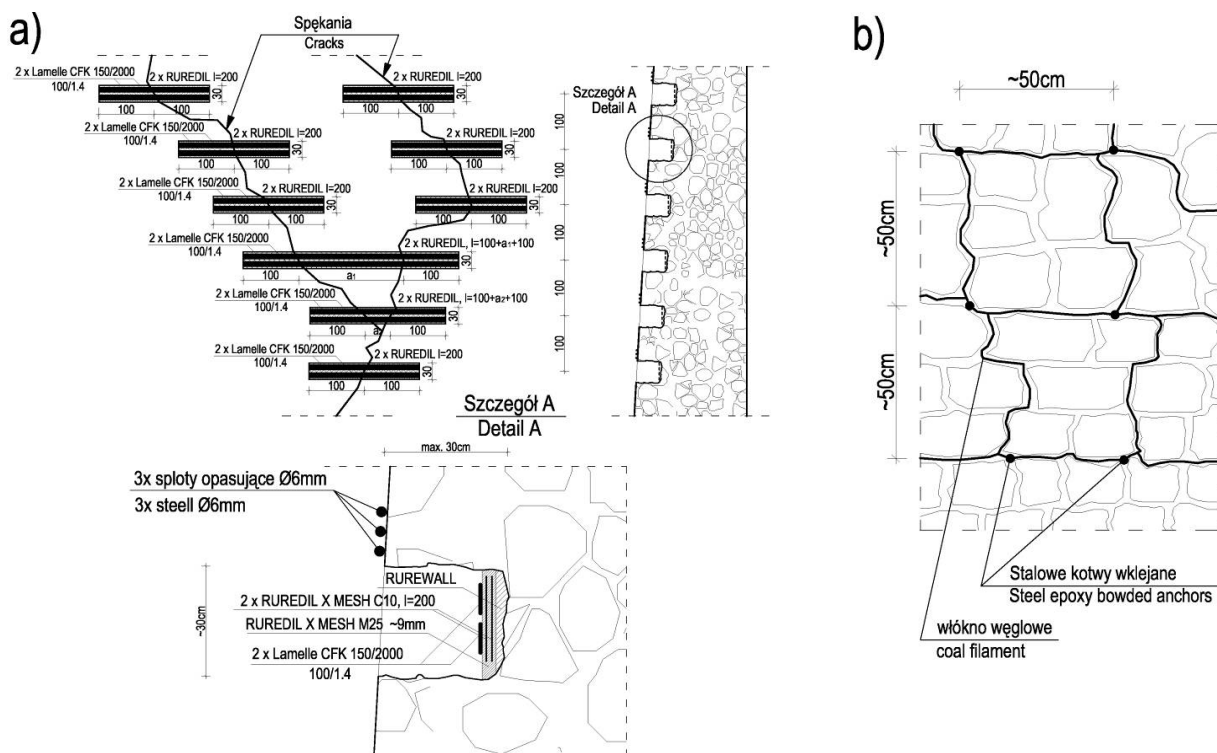
The following stabilization solutions have been assumed:

- protection in areas of cracks via implementation of CFRP tapes attached to walls with epoxy based glue and Ruredil primer (carbon mesh, mineral mortar) with simultaneous injection of cracks with epoxy based compositions. Additionally elastic steel weaves surround the walls. Initial strengthening and anchoring of those weaves has been designed in the reconstructed part of outer walls (fig. 6),
- an outer collar, made of reinforced concrete has been implemented, partially hidden in the stone wall at the level of wall basing on the rock in order to eliminate mechanisms of destruction of further parts of wall, similar to one shown in fig. 3. The collar has been anchored in the rock via steel glued anchors (fig. 6b),
- a surface strengthening has been designed for parts of wall with large areas of missing joints or deformations, by means of carbon fibre attached and stretched transversely to walls via steel glued anchors hidden in joints.
- the reconstructed part of walls made of reinforced concrete is an important element of the stabilization of the castle. Future embellishment of this part of the wall via a stone facing matching the original pattern with original stone material used is to be performed. (fig. 7),
- an outer reinforced concrete collar has been implemented under the stone head of walls.

– wprowadzono wieniec żelbetowy, obwodowy pod kamienną koroną murów.

Przeprowadzono również badania cech mechanicznych materiału kamiennego oraz materiału zaprawy pobranego ze spoin przy użyciu zestawu laboratoryjnego wytrzymałościowego oraz metody ultradźwiękowej z użyciem głowic punktowych (na obiekcie). W oparciu o analizę chemiczną określono skład chemiczny zaprawy historycznej i zaprojektowano zaprawę odtworzeniową.

Examinations of mechanical properties of stone material and mortar material taken from joints have been made via an endurance examination laboratory set and ultrasonic method with point heads (in situ). Basing on the chemical analysis, a chemical composition of historical mortar has been established and reconstruction mortar has been designed.



Rys. 6. Wzmocnienie osłabionych przekrojów obwodowych murów kamiennych
Fig. 6. Strengthening of weakened sections of outer stone walls



Rys. 7. Wzmocnienie skarpy oraz pierwsza faza wykonania zbrojenia odtwarzanego fragmentu murów obwodowych zamku (konstrukcja żelbetowa)
Fig. 7. Slope strengthening and first stage of making of reinforcement for the reconstructed part of outer castle walls. (reinforced concrete)

Tab. 1. Cechy mechaniczne kamienia i zaprawy historycznej w oparciu o badania wytrzymałościowe i ultradźwiękowe
Mechanical characteristics of stone and historical mortar based on the endurance and ultrasonic examination

Badanie wytrzymałościowe kamienia <i>Stone endurance examination</i>						
Nr próbki <i>Sample no.</i>	Wymiar boczny <i>Side dimension</i>		Wysokość <i>Height</i>	Siła niszcząca <i>Destruction force</i>	Wytrzymałość na ściskanie <i>Press endurance</i>	Uwagi <i>Notes</i>
	A	B	H			
	[mm]					
1	51,60	51,40	51,30	130,000	49,02	brak uwag <i>no comm.</i>
2	50,80	50,90	50,50	69,000	26,69	brak uwag <i>no comm.</i>
3	50,90	51,00	50,70	57,000	21,96	brak uwag <i>no comm.</i>
4	50,60	51,00	51,30	87,000	33,71	brak uwag <i>no comm.</i>
5	51,50	52,40	50,80	66,000	24,46	brak uwag <i>no comm.</i>
6	50,70	51,00	51,10	39,000	15,08	brak uwag <i>no comm.</i>
7	51,30	50,90	51,50	92,500	35,42	brak uwag <i>no comm.</i>
8	51,00	51,05	51,15	127,000	48,62	brak uwag <i>no comm.</i>
9	50,50	50,50	50,50	80,000	31,37	uszkodzona <i>damaged</i>
10	50,60	50,60	50,60	138,000	53,90	brak uwag <i>no comm.</i>
11	51,00	51,00	51,00	83,000	31,91	brak uwag <i>no comm.</i>
12	51,20	51,20	51,20	135,000	51,50	ukośna <i>slanted</i>
13	51,20	50,60	51,00	59,000	22,77	uszkodzona <i>damaged</i>
14	51,50	51,50	51,50	105,000	39,59	brak uwag <i>no comm.</i>
15	51,30	51,30	51,30	75,500	28,69	brak uwag <i>no comm.</i>
16	51,20	51,20	51,20	57,500	21,93	brak uwag <i>no comm.</i>
17	50,50	50,50	50,50	65,500	25,68	brak uwag <i>no comm.</i>

Wyniki badań ultradźwiękowych i niszczących wyciętych próbek zaprawy. Baza pomiarowa l=20mm, czas $t_0=24\mu s$ <i>Outcome of ultrasonic and destruction examinations of cut out samples of mortar. Measurement base l=20mm, time $t_0=24\mu s$</i>								
Nr próbki <i>Sample no.</i>	Nr punktu pom. <i>Meas. Point no.</i>	Czas t_{br} [μs] <i>Time t_{br} [μs]</i>	Czas t_n [μs] <i>Time t_n [μs]</i>	Prędkość C_p [km/s] <i>Speed C_p [km/s]</i>	Wytrzymałość [MPa] <i>Endurance [MPa]</i>		Siła niszcz. w [dN] i wymiar przekroju [mm] <i>Destruction force in [dN] section dimension [mm]</i>	Wytrzymałość zniszczeniowa <i>Destruction endurance</i>
1	1	38,1	14,1	1,420	f_{mh}	f_{ms}	1195 64,7 · 45,3	4,07
	2	45,5	21,5	0,930				
	3	42,2	18,2	1,099				
	4	41,1	17,1	1,170				
	5	37,9	13,9	1,439				
	6	43,5	18,5	1,025				
	7	39,7	15,7	1,274				
	8	39,2	15,2	1,315				
Średnia / Average				1,209	3,84	3,24		

2	1	48,1	24,1	0,8298			320 35,6×37,5	2,39
	2	46,3	22,3	0,8968				
	3	34,7	10,7	1,869				
	4	42,7	18,7	1,069				
	5	37,0	13,0	1,538				
	6	36,4	12,4	1,613				
Średnia / Average				1,300	4,40	3,70		
3	1	51,7	27,7	0,722			1870 42,6×35,2	1,82
	2	50,6	26,6	0,752				
	3	58,9	34,9	0,573				
	4	62,4	38,4	0,521				
	5	42,8	18,8	1,064				
	6	42,4	18,4	1,084				
	7	55,3	31,3	0,638				
	8	56,1	32,1	0,623				
Średnia / Average				0,747	1,58	1,33		
4	1	45,1	21,1	0,9478			3290 48,3×35,7	1,91
	2	56,5	32,5	0,6154				
	3	45,3	21,3	0,939				
	4	52,0	28,0	0,714				
	5	39,8	15,8	1,265				
	6	48,0	24,0	0,833				
	7	41,0	17,0	1,176				
	8	53,2	29,0	0,685				
	9	47,7	23,7	0,843				
Średnia / Average				0,891	2,19	1,84		
5	1	34,3	10,3	1,942			5150 26,2×34,0	5,78
	2	36,5	12,5	1,600				
	3	36,7	12,7	1,574				
	4	37,1	13,1	1,527				
	5	36,9	12,9	1,550				
	6	35,1	11,1	1,801				
Średnia / Average				1,665	6,95	5,85		
Średnia dla próbek / Average for samples						3,190		3,198

Porównanie wytrzymałości zapraw w próbkach w zależności od położenia jej w murze z wytrzymałością próbek badanych z różnych stron (w sposób mieszany) na obiekcie
Comparison of mortar endurances in samples, depending of sample's location in the wall (mixed) of the structure

Nr próbki <i>Sample no.</i>	Wytrzymałość w strefie zewnętrznej [MPa] <i>Endurance in outer zone [MPa]</i>	Wytrzymałość w strefie wewnętrznej [MPa] <i>Endurance in inner zone [MPa]</i>	Wytrzymałość próbek badanych w sposób mieszany [MPa] <i>Endurance of examined samples, mixed [MPa]</i>
1	---	---	2,391
2	6,479	1,690	---
3	---	---	1,795
4	---	---	3,020
5	---	---	2,286
6	-2,741	1,092	---
7	4,090	1,407	---
8	---	---	3,272
9	5,331	1,542	---
10	5,282	---	---
Średnia / Average	4,785	1,432	2,553

Tab. 2. Skład chemiczny zaprawy historycznej spoin murów obwodowych zamku
Chemical composition of historical mortar used for joints in outer stone walls of the castle

Lp. No.	Próbka Nr. / Sample no. Oznaczenia / Description	1	2	3	4	5	6
1	Sumaryczna zawartość kruszywa drob. do 3 mm [%] <i>Summary amount of fine aggregate to 3 mm [%]</i>	73,4	70,8	69,9	70,3	72,7	69,7
	w tym / including: piasku [%] / sand [%]	23,5	33,5	39,6	21,4	72,7	69,7
	wapienia [%] / limestone [%]	---	37,3	30,3	48,9	---	---
	dolomitu [%] / dolomite [%]	49,9	---	---	---	---	---
2	Zawartość spoiwa w tym wapna jako CaO [%] / as CaO [%] <i>Binder content, including lime as CaO [%]</i>	12,6	12,6	12,6	12,6	12,7	12,4
	jako Ca(OH) ₂ [%] / as Ca(OH) ₂ [%]	16,6	16,6	16,6	16,6	16,7	16,4
	gliny suchej [%] / dry clay [%]	4,1	4,5	5,1	2,4	2,5	5,1
3	Stosunek wagowy % Ca(OH) ₂ / % kruszywa / % aggregate <i>Weight ratio % Ca(OH)₂ / % aggregate</i>	0,226	0,234	0,237	0,236	0,229	0,235



Rys. 8. Badanie zaprawy spoin metodą ultradźwiękową (fot. B. Stawiski)
Fig. 8. Examination of mortar via ultrasound method (photo by B. Stawiski)

Opisane badania mają ogólny walor poznawczy a, w analizowanym przypadku, posłużyły do opracowania receptury zaprawy odtworzeniowej, która zostanie użyta do wykonania okładziny kamiennej fragmentu żelbetowego odtwarzanych murów oraz do uzupełnienia spoin historycznych także w obszarach wyprowadzenia wzmocnień powierzchniowych przy użyciu włókien węglowych.

5. Podsumowanie

Stabilizacja i ekspozycja konstrukcji historycznych obiektów kamiennych, ważnych dla pejzażu kulturowego jest zagadnieniem trudnym. Wymaga kompleksowych badań o charakterze historycznym, architektonicznym, chemicznym, a przede wszystkim, zmierzających do pewnej oceny cech wytrzymałościowych konstrukcji – nośności, sztywności, stateczności. Ma ona bowiem wtedy istotny sens, kiedy konstrukcje te mogą być udostępniane. Szczególną wagę należy tu przypisać bezpieczeństwu konstrukcji a tym samym bezpieczeństwu użytkowników. W procesie konserwacji konstrukcyjnej należy zawsze założyć konieczność zmian technologicznych wraz z postępem realizacji.

Obok autorów w badaniach udział wzięli:

W. Puła, B. Stawiski, A. Mierzejewska,
Z. Korbut, Z. Matros, R. Tabisz z Politechniki
Wrocławskiej, K. Mirek – CCI,
D. Sułek-Chlebowska – CCI.

Described research has a general advantage of cognitive value, and in the analyzed case, it served as a way to prepare a formula of reconstruction mortar, which will be used for making of outer stone facing of reinforced concrete section of reconstructed wall, as well as a filler for existing historical joints in areas where a surface reinforcement has been made with carbon fibers.

5. Summary

Stabilization and presentation of historical stone structures is a very difficult issue. It requires a complex historical, architectural and chemical research, which, most of all, try to evaluate on endurance of the construction – its load capacity, rigidity and stability. It is of crucial importance when those constructions are to be allowed for public visiting. Safety of the structure and safety of users as well, are of utmost importance. In the process of structure reconstruction one must always assume a possibility of technology change along with the reconstruction progress.

Besides authors, the following have taken part in the research:

W. Puła, B. Stawiski, A. Mierzejewska,
Z. Korbut, Z. Matros, R. Tabisz from Politechnika
Wrocławska (Wrocław University of Technology),
K. Mirek – CCI, D. Sułek-Chlebowska – CCI

* Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska
Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

** CCI Sp. z o.o., Długoleka, Polska
CCI Sp. z o.o.(Co. Ltd.), Długoleka, Poland