

Görün Arun*

Ancient building foundation systems in seismic areas

Fundamenty budowli starożytnych położonych na obszarach sejsmicznych

1. Introduction

Generally, the old foundation systems that support the historical structures are different from the current practice in terms of materials used and foundation organization. Ancient building masters had introduced special techniques to control the underground water movement and to make the structure withstand the lateral forces.

Many historical masonry buildings in seismic areas are vulnerable to dynamic actions due to the ageing, environmental factors and mostly lack of knowledge in the interpretation of the building construction methods and details during intervention.

The ground response under seismic disturbances is a complicated issue. Local site conditions influence the amplitude, frequency content and duration of strong ground motion. The extent of their influence depends on the geometry and material properties of the subsurface materials on site topography and the characteristics of the superstructure. Seismic instability of a building may be of inertial instabilities and weakening instabilities. To prevent the deterioration of such elements in long term, the humidity resulted from underground water movement should be controlled.

Ancient building masters, using techniques developed by previous cultures, their own trial and error, and techniques transferred from one generation to another, were able to empirically size and design an effective underground drainage and a foundation system. The ignorance of the accumulation of master builder's knowledge and construction technique of their time may lead to incorrect intervention and long-term harmful effects on the structure.

1. Wstęp

Zasadniczo, stare fundamenty będące podporą konstrukcji historycznych różnią się od obecnie stosowanych pod względem wykorzystanych materiałów i sposobu konstruowania. Starożytni budowniczcy wprowadzili specjalne techniki celem kontrolowania przepływu wody gruntowej oraz zabezpieczenia konstrukcji przed działaniem sił poprzecznych.

Wiele zabytkowych budynków murowanych znajdujących się na obszarach sejsmicznych jest narażonych na działania dynamiczne z powodu starzenia się, czynników środowiskowych i, przede wszystkim, z braku wiedzy przy interpretacji metod i danych budowy podczas prac interwencyjnych.

Reakcja gruntu na zaburzenia sejsmiczne jest procesem skomplikowanym. Warunki lokalne mają wpływ na amplitudę, częstotliwość drgań i czas trwania silnych ruchów mas gruntu. Zakres ich wpływów jest zależny od geometrii i właściwości podłoża gruntowego w lokalnej topografii oraz cech charakterystycznych nadbudowy. Niestabilność sejsmiczna budynku może obejmować niestabilność inercyjną i niestabilność osłabiającą. Celem uniknięcia niszczenia fundamentów w długim okresie czasu, należy kontrolować wilgotność będącą wynikiem przepływu wody gruntowej.

Starożytni budowniczcy, przy zastosowaniu technik opracowanych przez poprzednie kultury, za pomocą własnych prób i błędów oraz technik przekazywanych z pokolenia na pokolenie, byli w stanie empirycznie zmierzyć i zaprojektować skuteczny system odwadniania oraz system fundamentów. Nieznajomość ówczesnej wiedzy budowniczego oraz technik budowlanych stosowanych w jego czasach może doprowadzić do niewłaściwej interwencji oraz

The seismic zone map of Turkey in 2006 Specification for Structures to be built in Disaster Areas, classifies the country into five seismic zones- in which Zone 1 is most severe. During the investigation, it has been noticed that in seismic areas, the master builders tried to introduce special techniques to make the structure withstand the lateral forces in substructure and superstructure.

The main objective of this paper is to point out the design of historical foundation systems of master builders through reviewing archaeological and history of architecture publications, discussions with archaeologists and experiences met during diagnosis phase of restoration works. The study of ancient design methods can contribute to today's design considerations.

2. Underground Drainage system

Ancient building masters were aware that the water was the most serious non-seismic threat to masonry buildings in areas of both high and low seismicity. Depending on the porosity of foundation construction material and soil characteristics, it can damage the wall and soil by actually eroding away portions and by reducing the strength. To prevent weakening instability of the building through humidity resulted from underground water movement, they designed an effective underground drainage system.

In archaeological excavations, it is seen that surface and subsurface drainage was given high priority during its design and construction. The foundation rituals for temples, palaces, tombs, and forts actually consisted of marking the corners of the building, cutting the earth in the building site through to the water table which represented the upper limit of the water god. Then they constructed a well with galleries or channels to the ground level before starting the foundation wall construction. This construction system, constructing a well in the building, was practiced till late 19th century in important buildings.

The major components of the drainage system to drain interior ground surfaces of a building included wells or cisterns in the basement, galleries or channels that discharge the water out of the building, and gates for ventilation out of the building. The size of the galleries or channels connecting wells to each other or discharging water away from the building varies from 30-40cm to 1.0-2.5m depending on the size of the building. These are

może mieć długoterminowe szkodliwe skutki dla konstrukcji.

Mapa stref sejsmicznych w Turcji z 2006 roku ze specyfikacją dla konstrukcji budowanych na obszarach sejsmicznych dzieli kraj na pięć stref sejsmicznych, z których Strefa nr 1 jest najbardziej zagrożoną strefą. Podczas badań zauważono, iż na obszarach sejsmicznych budowniczcy próbowali wprowadzić specjalne techniki celem zabezpieczenia przed działaniem sił poprzecznych części podziemnej i nadziemnej konstrukcji.

Głównym celem niniejszego artykułu jest pokazanie sposobu projektowania fundamentów wykonanych przez budowniczych w zabytkowych budowlach na podstawie przeglądu archeologicznych oraz historycznych publikacji, na podstawie rozmów z archeologami i doświadczeń zdobytych na etapie prac konserwacyjnych. Zbadanie starożytnych metod projektowania może przyczynić się do rozwoju dzisiejszych metod projektowania.

2.Podziemny system odwadniania

Starożytni budowniczcy wiedzieli, że woda, poza zagrożeniami sejsmicznymi, jest najpoważniejszym zagrożeniem dla murowanych budowli znajdujących się na obszarach o zarówno wysokiej jak i niskiej aktywności sejsmicznej.

W zależności od porowatości materiału fundamentu i parametrów podłoża gruntowego, woda może uszkodzić zarówno fundamenty jak i podłoże, poprzez wyerodowanie części fundamentów i zmniejszenie wytrzymałości podłoża. W celu zapobieżenia osłabienia budynku spowodowanego wilgocią, będącą skutkiem migracji wody gruntowej, budowniczcy zaprojektowali efektywny podziemny system odwadniania.

Na podstawie wykopalisk archeologicznych wiadać, że drenaż powierzchniowy i podpowierzchniowy stanowił priorytet podczas projektu i budowy. Zazwyczaj techniki budowy fundamentów świątyń, pałaców, grobowców i fortów w rzeczywistości obejmowały oznaczenie naroży budynku, wycięcie gruntu w miejscu budowy aż do osiągnięcia górnego poziomu wody. Następnie, przed rozpoczęciem budowy fundamentów, budowniczcy konstruowali studnię z galeriami lub kanałami do poziomu gruntu. Taki system budowy polegający na tworzeniu studni w budynku był praktykowany do późnych lat XIX wieku w ważniejszych budowlach.

Główne elementy drenażu do celów odwadniania wewnętrznego podłoża budynku obejmowały studnie lub zbiorniki w piwnicy, galerie lub kanały, które wyprowadzały wodę z budynku oraz bramy do wentylacji powietrza z budynku. Rozmiar galerii lub

generally constructed of stones or bricks with mortar binding [1].

In settlements, the channels, penetrating the walls, generally continued to the other building's drainage system then was discharged to a channel along a main road or to a cistern or to a fountain tank. In most of the Byzantium buildings in and around Istanbul, the underground water was discharged to a cistern or the foundation of the buildings included cistern [2]. In the area of Topkapi Palace, more than forty cisterns were found within the substructures of buildings [3]. The twelfth-century church of Pammakaristos includes a large colonnaded and vaulted cistern that extends under the naos and parts of the ambulatory, now filled with soil (fig. 1). Yavuz Selim Mosque in Fatih district includes a large gallery heading toward a cistern that is blocked by the foundation of the mosque. There is also a cistern near the Fatih Mosque.

kanałów łączących ze sobą studnie lub odprowadzających wodę z budynku różnił się w zależności od rozmiaru budynku i wynosił od 30-40 cm do 1-2,5 m. Zwykle były one zbudowane z kamieni lub cegieł wiązanych zaprawą murarską [1].

Kanały przechodzące przez ściany zasadniczo dochodziły do systemu drenażu innego budynku, a następnie wychodziły do kanału znajdującego się wzdłuż głównej drogi, do zbiornika lub zbiornika fontanny. W większości budynków bizantyjskich znajdujących się w pobliżu Istanbułu woda podziemna była wyprowadzana do zbiornika lub fundamenty budowli posiadały taki zbiornik [2]. Na obszarze Pałacu Topkapi odnaleziono ponad czterdzieści zbiorników w podbudowie. [3]. XII-wieczny kościół w Pammakaristos posiada ogromny zbiornik wody z kolumnadą i sklepieniami, które rozpościerają się pod naosem i częściami ambitu obecnie wypełnionymi gruntem (rys. 1). Meczet Yavuz Selim w dystrykcie Fatih posiada ogromną galerię skierowaną do zbiornika, który jest zablokowany fundamentami meczetu. W pobliżu Meczetu w Fatih znajduje się również zbiornik.



Fig. 1. The cistern of church of Pammakaristos (Fethiye Mosque) in Fatih, Istanbul
Rys. 1. Zbiornik w kościele w Pammakaristos (meczet Fethiye) w dystrykcie Fatih w Istanbule

Ottoman culture preferred discharging the wells to a nearby fountain tank. Several lined masonry houses in Galata district of Istanbul, suffering of moisture and tilting due to the soil settlement, had wells in their basement connected to each other by a channel system through all the settlement (fig. 2, 3). The newly built RC building in between them had blocked the subsurface water control system and water started to rise to the building softening the soil that had lead to the building settlement. Inspection of the subsurface drainage works under the district provided important information for the damage evaluation of these historical masonry buildings.

W kulturze otomańskiej preferowano odprowadzanie wody ze studni do najbliższego zbiornika z fontanną. Kilkanaście ustawionych w rzędzie kamiennych budynków w dzielnicy Galata w Istanbule, które odczuwały skutki wilgoci i przechylały się z powodu osiadania podłoża, posiadało w swoich piwnicach studnie połączone ze sobą za pomocą systemu kanałów na całym obszarze osady. (rys. 2, 3). Nowo wybudowany budynek RC, który stoi między nimi, zablokował system kontrolowania wody podpowierzchniowej i woda zaczęła podnosić się do budynku osłabiając podłoże, co doprowadziło do osiadania budynku. Inspekcja podpo-

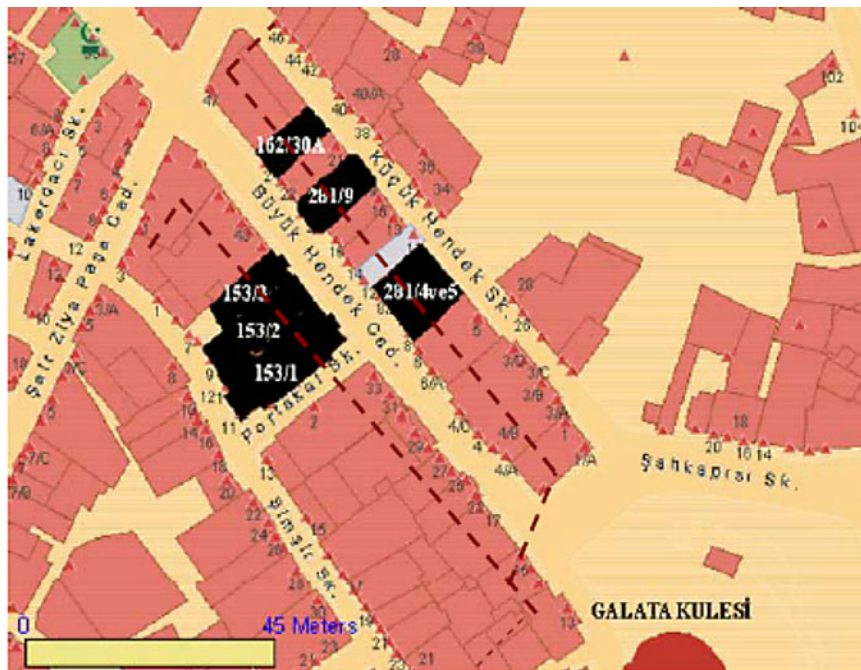


Fig. 2. Damaged houses in Galata district
Rys. 2. Uszkodzone domy w dzielnicy Galata



Fig. 3. A well in the basement of a house in Galata district
Rys. 3 Studnia w piwnicy domu w dzielnicy Galata



Fig. 4. The galleries within the foundation [7]
Rys. 4. Galerie w fundamentach [7]

Similarly the church of Sts. Sergios and Bacchos constructed near South sea walls of Constantinople had a well underneath its naos, probably discharging the underground water to the fountain on one side and sea on the other. Construction of highway filling the sea in front of the edifice must have demolished the underground water discharge system that the building was suffering of moisture and partial settlement before its recent restoration.

In some cases, the galleries or channels were constructed within the foundations i.e. just below the foot touch (fig. 4). These tunnels served to keep the structure warm in the winter and cold in the summer while removing the moisture from underground water. The size and length of these gates varied according to the need and size of structure and air ventilation of structure.

3. Ancient Foundations

The walls of historical houses, monuments and fortresses constructed with different construction methods included foundation, stone socle and wall. Through history, methods and materials of foundations were generally the same as the walls which they support.

Foundations, as distributing the loads from superstructure to the earth below, have to resist compression, tension and shear stresses imposed by underground water pressure and earthquake forces. The thick ancient building foundations were generally a vertical wall going deep to the hard soil. During the process of time as the wall thicknesses became thinner consequently the smaller sizes of foundation walls widening at the foot were practiced.

The foundation construction of the walls depended on the type of soil. The nature of the soil depends upon its grain structure and the geological way the soil was laid down. Acceleration is generated by ground displacements, amplified or attenuated by the structure. To minimize amplification of acceleration input and prevent resonance, adequate construction would be stiff structure on soft soils, flexible structure on hard soils and rock.

In Carabulus, one of the state governments of late Hittites during 9 century BC at Zone 1 earthquake area of south east Turkey, 5m thick fortress foundation wall of adobe blocks was placed on a gravel bed over the hard soil [2]. Same system can be ob-

wierzchniowych prac drenażowych przeprowadzanych pod dzielnicą dostarczyła ważnych informacji dla celów oszacowania zniszczeń w zabytkowych budynkach murowanych.

Kościół Św. Sergiusza i Bachusa wybudowany w pobliżu południowych kamiennych nabrzeży morskich w Konstantynopolu posiadał studnię pod naosem, z której prawdopodobnie była wyprowadzana woda poziemia do fontanny z jednej strony i do morza z drugiej strony. Budowa nasypu autostradowego w pobliżu budynku prawdopodobnie zniszczyła podziemny system odwadniania. Budynek ten następnie został uszkodzony w wyniku działania wilgoci i osiadania części fundamentu przed ostatnio przeprowadzonymi pracami konserwatorskimi.

W niektórych przypadkach, galerie i kanały były budowane w fundamentach, tj. tuż pod poziomem gruntu (rys. 4). Tunele te służyły do utrzymywania konstrukcji w cieple podczas zimy i ochładzania jej w lecie oraz jednoczesnego usuwania wilgoci pochodzącej od wody gruntowej. Rozmiar i długość bram różniły się w zależności od potrzeby i rozmiaru konstrukcji oraz wentylacji powietrza w konstrukcji.

3. Starożytne fundamenty

Ściany zabytkowych domów, budowli i fortec zbudowane przy zastosowaniu różnych technik budowlanych składały się z fundamentu, kamiennego cokółu i ściany. Jak wskazuje historia, metody budowy fundamentów i wykorzystywane materiały były zasadniczo takie same jak przy budowie ściany, która podpierana się na takich fundamentach.

Jako, że fundamenty przenoszą obciążenia z nadbudowy na niżej znajdujące się podłoże, muszą być wytrzymałe na ściskanie, rozciąganie i naprężenia ścinające powstające w wyniku ciśnienia wody gruntowej i sił sejsmicznych. Grube fundamenty budynków starożytnych zasadniczo stanowiły pionową ścianę zatopioną głęboko w twardym podłożu. Z czasem grubość muru zmniejszała się i dlatego zaczęto praktykować budowę cieńszych murów rozszerzających się przy gruncie.

Budowa fundamentów ściany zależała od rodzaju podłoża. Rodzaj podłoża jest zależny od jego uziarnienia oraz budowy geologicznej. Przyspieszenie powstaje w wyniku przemieszczeń mas gruntowych i jest wzmacniane lub osłabiane przez konstrukcję. W celu zminimalizowania wzmacniania się przyspieszenia i zapobieżenia występowaniu rezonansu, konstrukcja powinna być sztywna podłożu miękkiego i podatna – w przypadku podłoża skalnego (słabo odkształcalnego).

W Carabulus za rządów późnych Hetytów w późnym okresie rządów Hetytów, w IX wieku p.n.e.,

served in Phaselis at zone 1 earthquake area of Antalya (fig. 5). A house foundation of 1.8m thick and 4m deep in Cereblus rested on soft soil without any gravel bed [2]. The foundations of masonry village houses at east Anatolia (zone 1 and 2) are still constructed on a layer of ~40cm sand. It is well known that a subsurface layer as pillow of sand, gravel or small stones can change the natural frequency of soil so that the heavy masonry building doesn't experience resonance.



Fig. 5. Foundation of a building in Phaselis
Rys. 5. Fundamenty budynku w Phaselis

A tell formed with settlements constructed one over the other past era, at southeast, Zone 2 of Turkey, the foundation pits were down to the rock beds [2]. In seismic areas, if the rock bed was close to the surface, the rough surface of the rock was filled by small stones and the foundation walls rested on a transition layer assembled on this surface.

In Alaca Höyük from Chalcolithic era, at zone 1 EQ area on north of Turkey, a layer of three layers of adobe bricks of 10cm were found at the foundation base [2, 4]. Over this layer, there was a tilted wall of stone where the adobe brick wall was rested (fig. 6a). Foundation base formed with sun dried bricks are also encountered in Aslantaş at 1000 BC

w strefie sejsmicznej nr 1, znajdującej się w południowo-wschodniej Turcji, mury fundamentów fortyficy o grubości 5 m, składające się z bloczków ceglanych suszonych na słońcu zostały umieszczone na żwirowym podsypce nad podłożem nieodkształcalnym [2]. Taki sam system można zauważyć w Phaselis w strefie sejsmicznej nr 1 na obszarze Antalyi (rys. 5). Fundamenty domu w Carablus o grubości 1,8 m i głębokości 4 m spoczywały na miękkim podłożu bez żadnej podsypki żwirowej [2]. Fundamenty kamiennych domów w wioskach we wschodniej Anatolii (w strefie nr 1 i 2) nadal są budowane na warstwie piasku o grubości 40 cm. Powszechnie wiadomo, iż warstwa podbudowy taka jak poduszka piaskowa, żwirowa lub drobnokamiennista może zmienić naturalną częstotliwość podłoża w taki sposób, że ciężki kamienny budynek nie będzie wzbudzony do rezonansu.

W południowo-wschodniej Turcji w strefie sejsmicznej 2 z osad wybudowanych jedna na drugiej w przeszłości uformował się kopiec, a dół fundamentów sięgał podłoża skalnego [2]. Na obszarach sejsmicznych w przypadku, gdy podłoże skalne znajdowało się blisko powierzchni, szorstka warstwa skały wypełniana była drobnymi kamieniami, a fundamenty spoczywały na uformowanej w ten sposób warstwie przejściowej.

W Alaca Höyük w okresie eneolitu w strefie sejsmicznej nr 1 na północy Turcji, przy podstawie fundamentów odkryto warstwę składającą się z trzech warstw cegieł suszonych na słońcu o grubości 10 cm [2, 4]. Nad tą warstwą znajdowała się nachylona kamienna ściana, na której spoczywała ściana z cegieł (rys. 6a). Podstawę fundamentu zbudowaną z cegieł suszonych na słońcu można również spotkać w Aslantaş w 1000 roku p.n.e. (w strefie sejsmicznej nr 2) (rys. 6b) oraz w budynkach urartyjskich i azuryjskich w strefach sejsmicznych nr 1 i 2 [2].

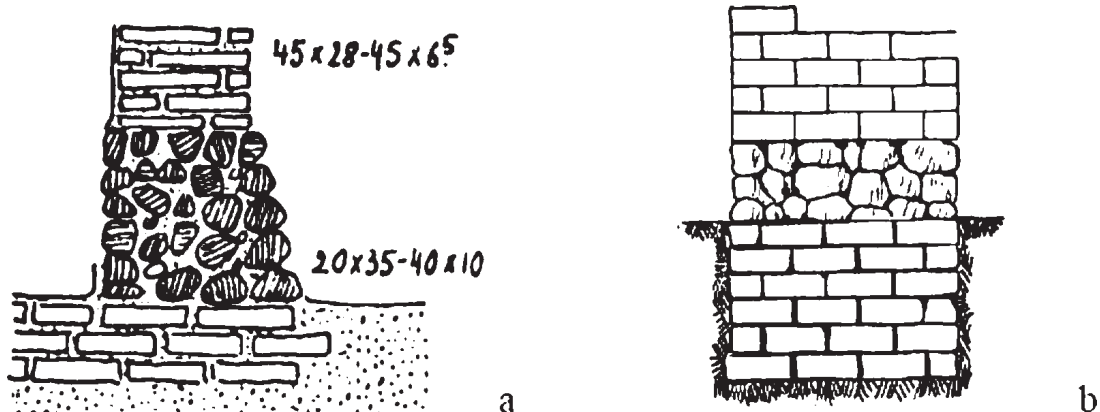


Fig. 6. Sun dried brick foundation base [2]
Rys. 6. Podstawa fundamentów zbudowana z cegieł suszonych na słońcu [2]

(zone 2 EQ area) (fig. 6b) and in Urartian and Assyrian buildings at zones 1 and 2 EQ areas [2].

In early Bronze Age of Beycesultan at Zone 1 earthquake area of Denizli on west of Turkey, 1.25m thick, 0.8m high rubble stone foundation walls of a palace in layer V rested on round woods laid side by side filled with small stones [2]. The foundation of Konjic Bridge is also same [6] (fig. 7). The 3.8m high, 1.5-2.0m thick adobe walls in Acemhöyük (Zone 3 EQ area), rests on a layer of small limestone blocks covered with lime mortar that project 1.0-1.5m out from the wall [2]. It is also possible to encounter round wooden layer over the limestone layer (fig. 8). A single layer stone foundation with wooden grill is also found at the base of the city wall in Tarsus, Zone 2 earthquake area at south of Turkey, from early Bronze II era [2, 4]. The Suleymaniye Mosque foundation with footings getting larger with depth rests on the rock layer via wooden grillage filled with mortar. Use of small stone blocks and round wood under the foundation wall provides a flexible foundation base.

We wczesnym brązie w Beycesultan znajdującym się w strefie sejsmicznej nr 1 w Denizli na zachodzie Turcji, ściany fundamentowe pałacu zbudowane z otoczaka grubości 1,25 m i wysokości 0,8 m w warstwie V spoczywały na okrągłych belach drewnianych ułożonych jedna obok drugiej i wypełnionych małymi kamieniami [2]. Fundamenty mostu Konjic są również podobne [6] (rys. 7). Ściany w Acemhöyük (w strefie sejsmicznej nr 3) zbudowane z cegły suszonej na słońcu o grubości 1,5-2 m i wysokości 3,8 m spoczywają na warstwie małych wapiennych bloczków pokrytych zaprawą wapienną, która wystaje na 1 do 1,5 m ze ściany [2]. Można również zetknąć się z okrągłą drewnianą warstwą położoną nad warstwą wapienną (rys. 8). Fundamenty zbudowane z pojedynczej warstwy kamiennej z drewnianym rusztem można również znaleźć przy podstawie murów miejskich w tarsu (Tarsie) w strefie sejsmicznej nr 2 na południu Turcji. Fundamenty te pochodzą z drugiej fazy epoki brązu [2, 4]. Fundamenty meczetu Suleymaniye, których podstawa zwiększa się wraz z głębokością,

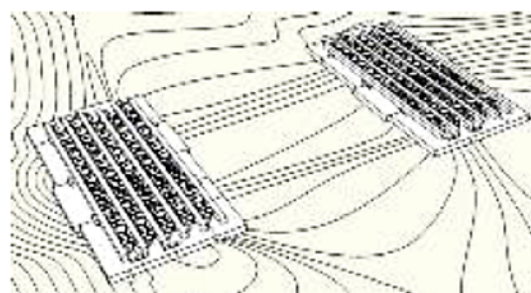


Fig. 7. Round wood foundation base of Konjic Bridge [6]

Rys. 7. Podstawa fundamentowa z okrągłego drewna na moście Konjic [6]

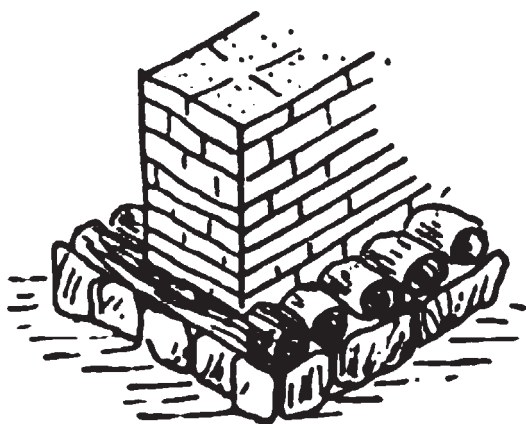


Fig. 8. Round wood foundation base over limestone blocks [2, 4, 5]

Rys. 8. Podstawa fundamentowa z okrągłego drewna nad wapiennymi bloczkami [2, 4, 5]

spoczywają na warstwie skalnej przedzielonej drewnianym rusztem wypełnionym zaprawą. Zastosowanie małych kamiennych bloczków i okrągłego drewna pod ścianą fundamentową zapewnia elastyczność podstawy fundamentów.

W przypadku, gdy podłoże skalne znajdowało się na powierzchni, skała była wycinana w formie koryta tak, by każdy kamień fundamentu mógł zostać umieszczony w skale, jak gdyby spoczywał w kołysce [2, 4] (rys. 9). Wycinanie wzdłuż długości ściany pogłębiało się na powierzchni skały i nie zawsze było prowadzone na tym samym poziomie.

Fundamenty skalne w formie koryta są często spotykane w Boğazköy w strefie sejsmicznej nr 3 w Turcji. Tutaj ogromne ciosane kamienie fundamentu spoczywały na wysokich krawędziach koryta zamiast w jego wnętrzu. [2, 4].

If the rock bed was on the surface, the rock was carved in the form of trough so that each stone of the foundation wall could be placed in the rock as if resting in a cradle [2, 4] (fig. 9). This carving along the wall length depended on the rock surface and was not always at the same level.

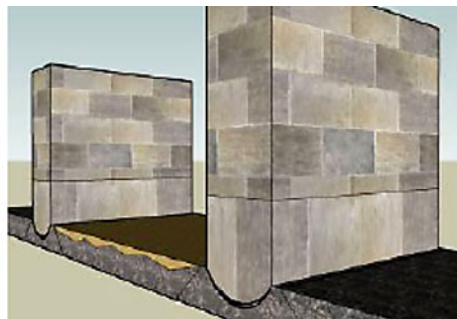


Fig. 9. The rock foundations in the form of trough [5]
Rys. 9. Fundamenty skalne w formie koryta [5]

The rock foundations in the form of trough were often met in Bogazköy, zone 3 earthquake area in Turkey. Here the big dressed stones of the wall rested on the high edges of the trough, not inside [2, 4].

In the organization of building foundation grillage, if different components of a building were not of the same weight and would have settled differently, it is seen that the intersecting lines of the foundations are not bounded. In Fatih Mosque at Enez, the foundations of the lightweight, wooden-roofed exonarthex to the heavier main block of the building were not bonded, although these different weighing blocks were constructed at the same time [1]. Same practice of providing seismic joints can be seen in Yavuz Selim Mosque at Istanbul, Şadірvanaltı Mosque in Izmir and Double Hamam in Skopje.

i wieńczonego dachem egzonarteksu nie były powiązane z cięższym głównym blokiem budynku, chociaż bloczki takie o różnych ciężarach zostały zbudowane w tym samym czasie [1]. Taka sama praktyka polegająca na stosowaniu złączy sejsmicznych jest widoczna w meczecie Yavuz Selim w Istambule, w meczecie Şadірvanaltı w Izmirze i Double Hamam w Skopje.

Inną praktykę wykonywania fundamentów odkryto w XVI-wiecznym ośmiokątnym grobowcu w kompleksie meczetu Yavuz Selim. W odległości ok. 4 m od ośmiokątnego grobowca odkryto kamienną ścianę o grubości 2 m zakopaną 6 m w głąb ziemi, o takim samym kształcie ośmiokąta. Ściana ta przypominała ścianę oporową przyjmującą pierwszy wstrząs w przypadku trzęsienia



Fig. 10. Retaining wall of the tomb at Yavuz Selim Mosque
Rys. 10. Ściana oporowa grobowca w meczecie Yavuz Selim

Another different foundation system practice was met at the 16th century octagonal tomb foundation of Yavuz Selim Mosque complex. Around 4m distance away from the octagonal tomb, 6m high buried stone wall of 2m thick in the same octagonal form was found as if a retaining wall to absorb the first shock of earthquake forces (fig. 10). Its effect on keeping the octagonal building from seismic forces has to be studied.

The construction of foundation wall was either solid or cavity wall constructed of two rows of stones, where the space between the rows is filled with the rubble and earth. Although the use of wood at the bases of foundation trenches was a standard practice, the use of wood ties in the cavity wall construction of the foundation has rarely been noted in the foundation systems. In the city walls of Istanbul, wooden grillage could be found in the walls.

4. Conclusions

Ancient building masters, with accumulation of knowledge from previous cultures were able to empirically size and design an effective underground drainage and a foundation system. To provide the lateral stability of structures in seismic areas, building masters had introduced special techniques as:

- Changing the natural frequency of soil by placing a pillow layer of sand or gravel under the foundations,
- Providing a flexible base by carving the rock in the form of a trough and placing the foundation stone fitting in the trough,
- Providing flexible base by placing round wood at the foundation base,
- Providing seismic joints by not connecting the foundations of different weighing components of a building.

The thick layer of sand, gravel or stone pieces provided a change in the natural frequency of soil as well as adequate subsurface permeability to avoid a high water table condition.

As their engineering systems are different than modern structures it is necessary to investigate heritage buildings according to their own engineering point of view of their construction time in a diagnosis phase of an intervention.

ziemi (rys. 10). Należy jeszcze zbadać, czy ściana taka skutecznie chroni budynek przed siłami trzęsienia ziemi.

Konstrukcja ściany fundamentowej składała się z litego lub szczelinowego muru zbudowanego z dwóch rzędów kamieni, gdzie przestrzeń między rzędami była wypełniona gruzem i ziemią. Pomimo iż stosowanie drewna w podstawie rowów fundamentowych należało do standardowych praktyk, zastosowanie wiązań drewnianych w konstrukcji muru szczelinowego fundamentów było rzadko spotykane w budowie fundamentów. W murach miejskich Istambułu można znaleźć drewniany ruszt.

4. Wnioski

Dzięki wiedzy zdobytej od poprzednich kultur, starożytni budowniczcy mogli empirycznie zmierzyć i zaprojektować skuteczny podziemny system odwadniania i system fundamentów.

W celu zapewnienia stateczności poprzecznej konstrukcji na obszarach sejsmicznych, budowniczcy stosowali następujące techniki:

- zmiana częstości drgań własnych podłoża poprzez umieszczenie warstwy poduszki piaskowej lub żwirowej pod fundamentami,
- zapewnienie podatnej podstawy poprzez wycinanie skał w kształcie koryta i umieszczanie kamienia tworzących fundament w korycie,
- zapewnienie elastycznej podstawy poprzez umieszczenie okrągłego drewna w podstawie fundamentów,
- zapewnienie połączeń sejsmicznych w budynku poprzez zaniechanie łączenia fundamentów zbudowanych z komponentów o różnym ciężarze.

Gruba warstwa piasku, żwiru lub kamieni zmieniła częstość drgań własnych podłoża oraz odpowiednią przepuszczalność podłoża, co zapobiegało występowaniu wysokiego lustra wody.

Jako, że systemy inżynierskie starożytnych budowniczych różnią się od tych stosowanych w nowoczesnych konstrukcjach, na etapie diagnostycznych prac interwencyjnych konieczne jest zbadanie zabytkowych budynków pod kątem poglądów inżynierskich z czasów budowy takiego budynku.

References • Literatura

- [1] Ousterhoud, R., *Master Builders of Byzantium*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1999.
- [2] (1997-2007) In: *Turkish Ministry of Culture and Tourism Cultural Heritage and Museums General Directorate Archaeological Excavation Reports*.
- [3] Eyice, S., *Byzantium Ruins in Degirmentali, Tuzla*, (in Turkish) Sanat Tarihi Yilligi 5, 1973.

- [4] Naumann, R., *Old Anatolian Architecture*, (in Turkish), Third Edition, Publication of Turk History Association, Ankara, Turkey, 1991.
- [5] Bayraktar A., *Analytical Study of Historical Masonry Buildings* (in Turkish) Beta Publishing House, Istanbul, 2006.
- [6] Sert, H., *Konjic Bridge / Bosnia and Herzegovina*, In: Proceedings of the Int. Symposium on Studies on Historical Heritage – SHH07, Antalya, Turkey, 2007.
- [7] Bayraktar, A., Keypour, H., Fahjan, Y., Arun, G., *Historical Monuments and Their Foundations*, In: Proceedings of the Int. Symposium on Studies on Historical Heritage SHH07, Antalya, Turkey, 2007.
- [8] Tezcan, S., *Topkapi Palace and surrounding Byzantine Archaeology*, Istanbul, 1989.

* Yildiz Technical University, Faculty of Architecture, Istanbul
Politechnika Yildiz, Wydział Architektury w Istambule

Abstract

The study of building construction method and structural details, such as foundations and other related sub structure elements, has a great importance in the interpretation of the building construction methods and details during investigation.

Substructure design was also an important consideration for ancient builders to control the underground water movement and to make their structure withstand the lateral forces. With the accumulation of knowledge from previous cultures, ancient building masters were able to empirically size and design a foundation system through; designing an effective underground drainage system, providing seismic joints and changing the natural frequency of soil .

The study of ancient substructure design methods through reviewing archaeological and history of architecture publications, discussions with archaeologists and experiences met during diagnosis phase of restoration works can contribute to diagnosis of historical buildings before any intervention design considerations.

Streszczenie

Badanie metod konstrukcji budynku i detali konstrukcyjnych takich jak fundamenty i inne elementy związane z podłożem ma wielkie znaczenie dla interpretacji metod konstrukcji budynku i detali konstrukcyjnych na etapie oceny budynku.

Projekt podbudowy był również ważny dla starożytnych budowniczych do celów kontrolowania ruchu wody podziemnej i zabezpieczania konstrukcji przed działaniem sił poprzecznych. Dzięki wiedzy zdobytej od poprzednich kultur, starożytni budowniczcy mogli empirycznie zmierzyć i zaprojektować fundamenty poprzez zaprojektowanie skutecznego podziemnego systemu odwadniania, zapewnienie złączy sejsmicznych i zmianę naturalnej częstotliwości podłoża.

Badanie starożytnych metod projektowania podbudowy poprzez dokonanie przeglądu archeologicznego i historii publikacji dotyczących architektury, dyskusje z archeologami i doświadczenia zdobyte na etapie diagnostycznym prac konserwatorskich mogą wnieść wkład do diagnozy zabytków przed zaprojektowaniem prac interwencyjnych.