

# Krzysztof Maszewski

---

## Wzmocnienie konstrukcji wychylonego odcinka murów obronnych Starego Miasta w Warszawie

---

Ochrona Zabytków 53/3 (210), 267-280

---

2000

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej [bazhum.muzhp.pl](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

## WZMOCNIENIE KONSTRUKCJI WYCHYLONEGO ODCINKA MURÓW OBRONNYCH STAREGO MIASTA W WARSZAWIE\*

Odształcenia konstrukcji budowlanych zwracają uwagę, rodzi się przy tym poczucie zagrożenia bezpieczeństwa, które dosyć często rzeczywiście jest uzasadnione. Szczególne miejsce zajmują tu przypadki odchylających się od pionu całych budowli. Zdarza się, że pochylone obiekty zyskują popularność wynikającą z nienormalnego stanu ich konstrukcji.

Warszawa ma także swój „krzywy” zabytek. Jest nim wychylony odcinek wewnętrznego obwodu miejskich murów obronnych o długości ok. 17 m. Usytuowany tuż obok Kamienicy Przy Bramie Rzeźniczej, zamyka od strony północno-zachodniej ulicę Szeroki Dunaj. Kamienica ta, która obecnie jest siedzibą Cechu Rzemiosł Różnych, dobudowana jest bezpośrednio do muru od strony Starego Miasta, w miejscu, gdzie ongiś od strony międzymurza była wzniesiona baszta. Mur w tym miejscu został włączony do struktury konstrukcyjnej budynku. Na przedłużeniu w kierunku południowo-zachodnim mur wychyla się dosyć gwałtownie ze skłonem na międzymurze, by dalej, bardziej już płynnie, powrócić do pionu. Zmienia przy tym dwukrotnie trasę tworząc załamania łagodnych łuków.

Odcinek ten łącznie z krenelażem ma wysokość ok. 850 cm; do chodnika straży ok. 650 cm, przy grubości tej części ok. 125 cm.

Krenelaż o grubości 1,5 cegły (48 cm) osłania chodnik, który pierwotnie poszerzony był drewnianą konstrukcją. Ślady zamocowań tej konstrukcji zachowały się do dnia dzisiejszego. Układ wątków ceglanych na oryginalnym licu, od strony międzymurza, jest na ogół wendyjski — dwie wozówki i jedna główka z zarysem strzępi:  $1 \times \frac{1}{4}$  cegły +  $3 \times \frac{3}{4}$  cegły (średnie wymiary cegieł  $10 \times 14 \times 30$  cm). W wielu miejscach układ wiązania jest zakłócony, przy czym pojawiające się zmiany mają charakter nieregularny. Z drugiej strony muru większa część powierzchni licowej ukształtowana została w czasie prac restauracyjnych prowadzonych w 1936 r. Niemniej jednak odcinek ten jest jedynym zachowanym fragmentem muru wewnętrznej linii obronnej sięgającym pełnej wysokości.

### Zarys dziejów budowlanych

Od strony zachodniej miasto było ongiś najbardziej narażone na ataki nieprzyjaciela. Tereny związane

z dzisiejszym Podwalem były otwarte na znacznym odcinku pomiędzy dwoma wąwozami — dzisiejszej trasy W-Z i ul. Mostowej. Należy zatem sądzić, iż właśnie tutaj powstały w pierwszej kolejności umocnienia obronne — najpierw ziemne, a później mury. Pojawienie się muru obronnego, który następnie stał się wewnętrznym obwodem murów, nastąpiło zapewne dopiero w połowie XIV w.<sup>1</sup>



1. Widok z międzymurza na odcinek wychylony wewnętrznego obwodu murów obronnych (od strony południowo-zachodniej). Z lewej strony Baszta Prochowa. Stan z 2000 r. Fot. S. Maszewski

1. View from the space between the walls of the deflected section of the inner defensive walls (from the south-west). To the left the Prochowa Bastille. State in 2000. Photo S. Maszewski

\* Prace zostały wykonane przez Pracownię Konserwacji Konstrukcji Murowanych Oddziału Konserwacji i Badań w Warszawie, należącego do PP Pracowni Konserwacji Zabytków, w okresie od czerwca 1990 r. do maja roku następnego. Na podstawie doświadczeń tej realizacji opracowana została przez autora niniejszego artykułu część konstrukcyjno-konserwatorska „Raportu o stanie istniejącym murów obronnych Starego Miasta” (PP PKZ „Zamek”). W 1996 r.

Wojewódzki Konserwator Zabytków postanowieniem nr 860/96, uznał zalecenia zawarte w tej części jako „obligatoryjne dla wszystkich prac remontowo-konserwatorskich przewidzianych do wykonania na całej długości murów obronnych”.

1. Z. Tomaszewski, *Obwarowania Warszawy i obrona północnego wjazdu do miasta*, (w:) *Szkie staromiejskie*, Warszawa 1955, s. 100.



2. Odspojenie licowej warstwy muru grubości 0,5 cegły na odcinku wychylonym, od strony międzymurza, na wysokości ok. 300 cm nad powierzchnią terenu. Stan z 1991 r. Fot. T. Kowalski.

2. Loosening of the face layer of the wall 0.5 brick thick along the deflected section, from the side of the space between the walls, at a height of about 300 cm. above the ground. State in 1991. Photo: T. Kowalski



3. Wycieki zaczynu w stykach spoiny z ceglami. Fot. T. Kowalski

3. Trickles of cement paste in contacts of the joints with the bricks. Photo: T. Kowalski

2. Tamże, s. 103.

3. Tamże, s. 104.

4. Tamże, s. 106.

5. Tamże, s. 116. O poszerzonym zakresie robót konstrukcyjnych

Zewnętrzny obwód murów powstał później, prawdopodobnie na początku XV w., w czasie gdy Warszawa była już stolicą księstwa. Wówczas to, ze względu na rozwój techniki prowadzenia wojen, wynikała potrzeba wzmocnienia obwarowań miejskich<sup>2</sup>. Budowa nowych umocnień mogła pociągnąć za sobą zmiany również i w starym murze<sup>3</sup>. Podwójny pas murów obronnych miał pełne znaczenie obronne jedynie w XVI w., w następnym stuleciu Warszawa otrzymała system nowożytnych obwałowań ziemnych z bastionami na terenie Nowego Miasta i na dalekich przedmieściach. Spadek znaczenia dawnych umocnień wiązał się także z postępującą ich degradacją techniczną. Co prawda uszkodzenia jakim uległy mury w czasie wojen szwedzkich próbowano jeszcze naprawiać do końca XVII w., ale proces powolnego ich niszczenia był coraz głębszy. Najsilniejszym czynnikiem tego procesu w latach późniejszych była rozwijająca się zabudowa, wchłaniająca w swą strukturę elementy dawnych umocnień. Na początku XVIII w. fosa stała się własnością miasta i niszczenie dawnych murów obronnych stało się jeszcze bardziej intensywne. Zniszczenia pogłębiła w XIX w. planowana akcja regulacji placów i ulic warszawskich. Dopiero w drugiej połowie tego wieku obudziło się zainteresowanie historyków zachowanymi jeszcze resztkami murów<sup>4</sup>.

Prace metodyczne nad restauracją i rekonstrukcją umocnień miejskich podjęto dopiero w latach 1937–1938, koncentrując się na odcinku pomiędzy ul. Nowomiejską a Wąskim Dunajem.

Kierownictwo realizacji objął dr inż. arch. Jan Zachwatowicz. W zakres robót wchodziła szeroka gama prac budowlanych i restauracyjnych, łącznie z wykonaniem specjalnych konstrukcji zabezpieczających. „W rozwiązywaniu zagadnień technicznych i konstrukcyjnych współpracował z autorem rekonstrukcji dr inż. St. Hempel, wykonując m.in. ciekawą konstrukcję wyprostowania murów wychylonych z pionu, pod działaniem własnego ciężaru”<sup>5</sup>.

Wzmiankowane wzmocnienia konstrukcyjne zostały wykonane, jak można sądzić, w najbardziej wychylonej części omawianego odcinka murów, o czym świadczą odsłonięte w trakcie ostatnich badań żelbetowe stopy fundamentowe, a także pionowe, metalowe elementy tkwiące wewnątrz muru — odkryte w trakcie robót konserwatorskich. Trudno natomiast cokolwiek powiedzieć o wyprostowaniu fragmentu wychylonego — być może zlikwidowane zostało wychylenie na jakimś innym odcinku; możliwe jest również, że zmniejszono wówczas wychylenie omawianego odcinka, ponieważ został on odsłonięty z obu stron. Był to jedyny odcinek muru wewnętrznego odsłonięty obustronnie. Mur zewnętrzny odsłonięty został z obu stron

mówi również inna praca: „Popękane mury zostały wyreperowane, a w częściach grożących zawaleniem naprostowane” — por. T. Przytkowski, J. Zachwatowicz, *Mury obronne Warszawy*, Warszawa 1938, s. 18–19.

między ul. Nowomiejską a Szerokim Dunajem; od-  
tworzono przy tym również fosę. Pozostałe odcinki  
murów odsłonięte zostały jednostronnie. W ten spo-  
sób wyeksponowano historyczny ciąg międzymurza  
między ul. Nowomiejską a Wąskim Dunajem<sup>6</sup>.

Burzliwe koleje losu, łącznie z działaniem upływa-  
jącego czasu, odbiły się na stanie technicznym murów.  
Były już osłabione, kiedy wybuchła II wojna światowa.  
Wpływ działań wojennych w 1939 i 1944 r. z pewno-  
ścią stare uszkodzenia pogłębił, i to być może w spo-  
sób decydujący o opisywanych kłopotach.

### Stan techniczny muru w świetle badań

Struktura konstrukcyjna omawianego muru już w swej  
istocie charakteryzuje się niewielką wytrzymałością,  
ponieważ wążek wendyjski nie daje możliwości pełne-  
go przewiązania kolejnych warstw. Spoiny styczne po-  
przeczne warstw sąsiednich przebiegają w bezpośrednim  
pobliżu, a spoiny styczne podłużne nie są przykryte po-  
wierzchnią cegieł w całości. Tym bardziej więc konieczne  
stało się określenie stanu technicznego jego wnętrza.

Skomplikowana struktura starych konstrukcji mu-  
rowanych trudna jest do pełnego rozpoznania za po-  
mocą metod, jakimi dysponuje współczesna technika.  
Trudności te pogłębia różnorodność zapraw, jakie moż-  
na spotkać nawet w niewielkim obszarze badanego  
muru, a także niejednorodności cech fizycznych ka-  
mieni naturalnych bądź sztucznych (cegieł ceramicz-  
nych) kształtujących mur. Obraz dodatkowo kompli-  
kują skutki długotrwałego oddziaływania czynników  
atmosferycznych, wstrząsów, przebudów bądź katakli-  
zmów wojennych; czy też wreszcie zmiany w warun-  
kach posadowienia. Wszystkie te czynniki w nieosło-  
niętych murach obronnych mają szczególnie duży wpływ  
na ich kondycję techniczną i charakter zniszczeń. W przy-  
padku odkształceń konstrukcji punktem wyjścia jest  
określenie czynnika destabilizującego — stopnia jego  
aktualnej aktywności i jej przyczyn.

Prace konserwatorskie prowadzone w latach 1938–  
1939 poprzedzone były niewątpliwie jakimiś badania-  
mi technicznymi. Nie udało się jednak do nich dotrzeć,  
tak jak nie udało się zdobyć projektu, według którego  
prace te zostały wykonane. Zakres ingerencji technicz-  
nej był jednak wówczas znaczny.

Restauracja i rekonstrukcja murów zrealizowane  
w trakcie powojennej odbudowy Starówki Warszaw-  
skiej nie miały, jak można przypuszczać, konserwator-  
skiego zaplecza badawczego, co jest zrozumiałe w sy-

tuacji konieczności dźwignania z ruin całego miasta.  
Zbadane zostały jednak wówczas warunki geologiczne  
posadowienia fundamentów<sup>7</sup>. Mur obronny na oma-  
wianym odcinku posadowiony jest na piaskach; prze-  
ważają drobnoziarniste, ale występują również śred-  
nioziarniste oraz pasma piasku pylastego i gliniastego.  
Wodę nawiercono na głębokości 5,60 m (w stosunku  
do powierzchni terenu) tylko w jednym otworze usy-  
tuowanym od strony Starego Miasta, na wysokości  
reliktów baszty sąsiadującej z odcinkiem wychylonym  
od południowego zachodu. Znajdowała się ona nad  
soczewką uformowaną z gliny pylastej i piaszczystej,  
i miała niewątpliwie charakter wody zawieszanej.  
Głębokość wierceń w tym rejonie osiągnęła rzędne od  
–7,80 m do –11,90 m (w stosunku do powierzchni  
terenu). Warunki techniczne posadowienia nie budziły  
zastrzeżeń, zwracało jednak uwagę głębokie występo-  
wanie na międzymurzu zawartości kulturowych (do  
–2,30 m) i to stosunkowo blisko samego muru. Być  
może jest to jakaś wskazówka o przyczynie wychylenia  
muru, które mogło być spowodowane przesunięciem  
się gruntu spod fundamentów do pobliskiego głębo-  
kiego wykopu<sup>8</sup>.

Badania murów, przeprowadzone po okresie rewa-  
loryzacji powojennej, określiły stopień zniszczenia  
warstwy epidermicznej muru; zalecono przeprowa-  
dzenie ogólnego remontu budowlanego, z zabezpie-  
czeniem przeciwwodnym chodnika straży i krenelażu.  
W badaniach przeprowadzonych w 1981 r. omówiona  
została problematyka wychylenia muru wewnętrzne-  
go: „W notatkach historycznych nie można się doszu-  
kać w jakim okresie wychylenie nastąpiło, czy też już  
w trakcie budowy mur tak został wzniesiony. Za naj-  
bardziej prawdopodobne należy przyjąć, że wychylenie  
od pionu nastąpiło w pierwszych kilku czy kilkunastu  
latach po wybudowaniu na skutek błędów w posado-  
wieniu (rejon nasypów czy dawnego ciągu wodnego),  
lub też pożarów domostw dobudowanych. Zniszczenia  
i pożary podczas Powstania Warszawskiego mogły  
w dużej mierze też się przyczynić do istniejącego stanu.  
Mury obronne nie mają żadnych dylatacji, co przy  
zachodnim nasłonecznieniu może dawać niekorzystne  
wpływy termiczne. Po dokładnych oględzinach odnosi  
się przekonanie, na podstawie braków oznak zewnętrz-  
nych w postaci czynnych spękań, że mur w tym wy-  
chyleniu jest od dawna ustabilizowany”<sup>9</sup>.

W trakcie badań przeprowadzonych w 1987 r.<sup>10</sup>,  
które koncentrowały się na problematyce stateczności  
wychylonego fragmentu murów obronnych, zaobser-

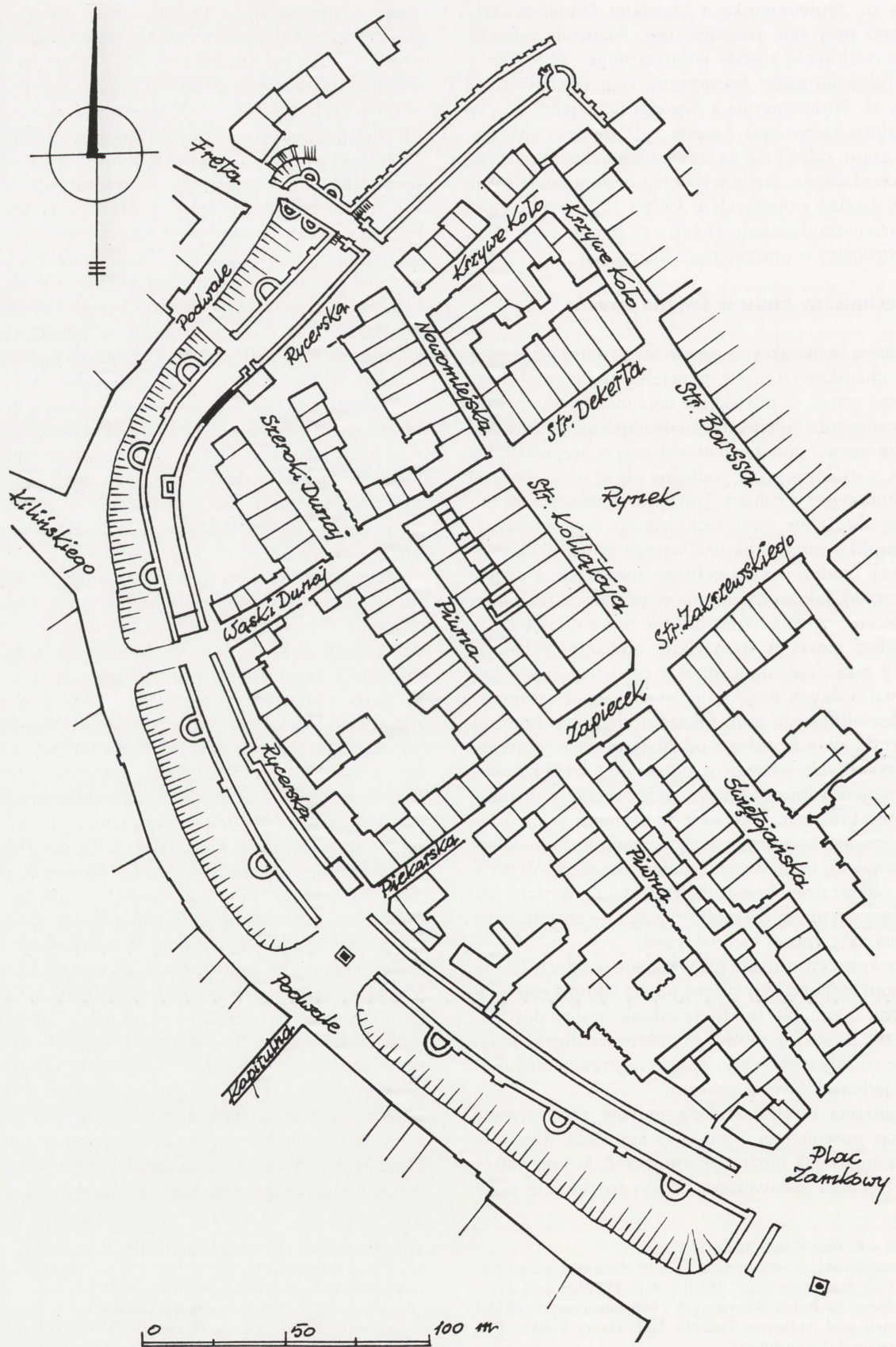
6. Tamże, s. 6. Plan Miasta Starej Warszawy.

7. Z. Tomaszewski, *Inwentaryzacja murów obronnych starej Warszawy*, „Teki Konserwatorskie” 1956, z. 4, s. 45. Wiercenia wyko-  
nało Zjednoczenie Robót Wiertniczych i Fundamentowych ZBM 1  
w Warszawie pod nadzorem Zakładu Architektury Polskiej PW,  
który opracował dokumentację.

8. Dokumentacja wierceń geotechnicznych przechowywana jest w ar-  
chiwum Instytutu Historii Architektury i Sztuki Wydziału Architek-  
tury Politechniki Warszawskiej.

9. A. Pulikowski, *Mury obronne Starówki Warszawskiej — opinia  
techniczna stanu istniejącego*, PP PKZ Oddział Warszawa, 1981 r.,  
na zlecenie Konserwatora Zabytków m.st. Warszawy.

10. S. Sosnowski, *Mury obronne Starówki Warszawskiej — opinia  
techniczna o stanie fragmentu odcinka III*, PP PKZ Oddział Warsza-  
wa, 1987 r., na zlecenie Dyrekcji Rozbudowy Miasta Warszawa-  
-Wschód.



4. Mury obronne Starego Miasta w Warszawie, czarnym kolorem zaznaczono odcinek wychylony muru. Wszystkie rys. K. Maszewski  
 4. Defensive walls of the Old Town in Warsaw, black colour marked the deflected section. All drawings: K. Maszewski

wowane zostały zarysowania między płaszczyzną poziomą chodnika a ścianą blanki w pobliżu miejsca największego wychylenia. Obliczenie stateczności wychylonego odcinka murów zostało wykonane na podstawie pomiarów przeprowadzonych przez Warszawskie Przedsiębiorstwo Geodezyjne w latach 1984, 1986 i 1987. Jak wynika z pomiarów maksymalne wychylenie krawędzi zewnętrznej muru blankowego w stosunku do podstawy całości wynosiło 60 cm, zaś wychylenie krawędzi chodnika straży 34,9 cm — dotyczy to jednego przekroju; w pozostałych miejscach wychylenie było znacznie mniejsze. Obliczenia wykazały, że przy założeniu jednolitości struktury murów i bezpiecznym przenoszeniu obciążeń przez fundamenty i grunt w miejscu największego wychylenia — stateczność murów jako całości (mur zasadniczy i blanki) była zachowana. Zachowana była także stateczność samego krenelażu, w stosunku do poziomu chodnika straży. Tym samym zachowana była także stateczność na pozostałych odcinkach wychylonej części muru. Przyczyny wychylenia uznane zostały jako nieznane, wychylenie określono jako ustabilizowane („od czasu dokładnych pomiarów, tj. października 1984 r., praktycznie nie powiększyło się”).

Zasadniczy problem stanu technicznego w odniesieniu do bezpieczeństwa konstrukcji został zatem sformułowany przy założeniu zachowanej jednorodności struktury wewnętrznej muru i prawidłowej współpracy fundamentów. Przy takim założeniu stan konstrukcji z uwzględnieniem wychylenia był zadowalający (zachowana stateczność na całej długości wychylonego odcinka i brak oznak zmian stabilności). Wobec powyższego, zasadniczą problematyką dalszych badań podjętych w 1988 r.<sup>11</sup> stało się sprawdzenie tych dwóch elementów założeń: jednorodności struktury wewnętrznej muru i prawidłowości współpracy fundamentów. Prace te poprzedzone zostały badaniami radarowymi i izotopowymi<sup>12</sup>, których interpretacja, łącznie z prowadzonymi równoległe innymi obserwacjami, pozwoliła na wyciągnięcie ostatecznych wniosków.

Badania radarowe określiły wewnętrzną strukturę murów i opisały możliwe do wykrycia uszkodzenia wpływające na ich pracę statyczną. Badania wykonywane były wzdłuż 28 pionowych profili, za pomocą systemu radarowego SIR (*Subsurface Interface Radar*); pomiary prowadzono w częstotliwości 1000 MHz i 200 MHz w sposób ciągły. Zasada badania polegała na rejestracji odbitych impulsów fal elektromagnetycznych od poszczególnych granic podpowierzchniowych. Granicami odbijającymi sygnał radarowy są granice między ośrodkami różniącymi się wartością stałej dielektrycznej „ε”. Obrazem rejestracji odbitych fal ra-

darowych jest falogram, czyli wydruk z plottera w postaci ciągłego podpowierzchniowego przekroju czasowego (oś głębokości wyrażona jest w jednostce czasu). Granice między ośrodkami charakteryzują się równoległymi zaciemnionymi pasami biegnącymi wzdłuż badanego profilu. Na falogramach zaznaczyły się wyraźne ciągle podpowierzchniowe refleksy o różnym stopniu intensywności, które świadczą o prawdopodobieństwie rozwarstwień muru. Obraz przedstawiony na falogramach został zinterpretowany i przedstawiony graficznie na rysunkach w skali 1:20.

Badanie izotopowe było pomiarem ciężaru objętościowego poszczególnych elementów muru (w 142 punktach). Pomiar taki polega na rejestracji intensywności rozproszonego w badanym materiale promieniowania  $\gamma$ ; wartość intensywności jest odwrotnie proporcjonalna do ciężaru objętościowego materiału. Wyniki pomiarów ustaliły średnią ciężaru objętościowego  $\gamma_0 = 1,92 \text{ G/cm}^3$  i opisały rozkład wartości ciężaru objętościowego za pomocą izolinii na rysunkach rozwinięcia lica muru. Anomalie w tym rozkładzie (strefy poniżej  $1,6 \text{ G/cm}^3$ ) odpowiadają strefom rozluźnienia substancji muru. Zasięg metody izotopowej wynosił średnio ok. 100 cm, stąd też badania te nie zarejestrowały niejednorodności wykrytych głębiej metodą SIR, sprawdziły je natomiast i uzupełniły w strefie swojej penetracji. Wykryte zostały liczne niejednorodności w strukturze muru. Stwierdzono też występowanie śladów świadczących o prawdopodobieństwie rozwarstwień pionowych, z których część była przypuszczalnie nadmiernie zawilgocona.

O tym, jak groźne są wewnętrzne rozwarstwienia pionowe równoległe do lica, można było wyrobić sobie pogląd obserwując inne odcinki warszawskich murów obronnych. W kilku miejscach w pobliżu zaznaczała się wówczas destrukcja o różnych stopniach nasilenia: od wyboczenia płaszcza zewnętrznego, aż do awarii polegającej na obsypaniu się odspojonych fragmentów. Skutki rozwarstwień otwierających wnętrza muru dla oddziaływania czynników atmosferycznych w murze wychylonym mogły mieć znacznie poważniejsze konsekwencje. Tym bardziej że na powierzchni tego muru zaznaczyły się ślady uszkodzeń wywołane innymi przyczynami, które mogły pogłębić osłabienie wnętrza.

Stan techniczny muru w części ponad powierzchnią terenu, określony przez obraz powierzchni licowych, był bardzo niejednorodny, choć na ogół nie można było rozgraniczyć stref występowania poszczególnych rodzajów destrukcji. Niewątpliwie jednak obraz śladów zaznaczających się od strony międzymurza (płn.–zach.) dostarczył znacznie więcej informacji niż obraz

11. K. Maszewski z zespołem, *Mury obronne St. Miasta w Warszawie. Wychylony fragment odcinka III. Orzeczenie o stanie technicznym*, PP PKZ Oddział Konserwacji i Badań w Warszawie, 1988 r., na zlecenie Dyrekcji Rozbudowy Miasta Warszawa-Wschód.

12. M. Razowski z zespołem, *Opracowanie wyników badań radarowych SIR i izotopowych przeprowadzonych na odcinku wychylonego muru obronnego Starego Miasta w Warszawie*, Krakowskie Przedsiębiorstwo Geodezyjne, Zakład Teledetekcji, 1988 r., na zlecenie PP PKZ OKiB.

śladów na stronie przeciwnej (płd.–wsch.), w poważnym stopniu wyreperowanej już przed wojną.

Zaobserwowane objawy destrukcji opisane zostały w kilku grupach jako:

- wyraźnie zaznaczające się wychylenie ze skłonem na miedzymurze spowodowane przypuszczalnie posadowieniem muru na granicy nasypu,
- rozwarstwienia pionowe z tendencją do odpajania się płaszczka zewnętrznego o grubości 0,5 cegły,
- spękania muru sygnalizujące pionowe ruchy związane z zakłóceniami rozkładu naprężeń strefy przyziemia; nie można wykluczyć również wpływu na ich powstanie braku dylatacji w konstrukcji muru (zarysowanie na całej wysokości muru — południowy skraj wychylonego odcinka); są one obecnie również ustabilizowane, jak można sądzić po wynikach obserwacji przeprowadzonych w dalszym etapie prac,
- ubytki zaprawy w spoinach i to zarówno pionowych jak i poziomych dochodzące do dwudziestu kilku cm,
- destrukcja zaprawy w spoinach wywołana procesami korozyjnymi a objawiająca się znacznym zmniejszeniem wytrzymałości (na głębokość do 8 cm),
- powierzchniowe złuszczenia cegieł spowodowane korozją i być może wpływem zabiegów przeprowadzonych w czasie remontu murów w latach pięćdziesiątych, które miały na celu patynowanie i barwienie ich powierzchni (wspomina o tego rodzaju zabiegach autor opinii z 1981 r.),
- głębokie ubytki substancji cegieł (od strony miedzymurza), głównie w pasie na wysokości od 50 cm do 200 cm od powierzchni terenu; części zachowane nosiły ślady pylenia, objawu charakterystycznego dla procesów towarzyszących kapilarnemu podciąganiu wody.

Zwracała uwagę silna tendencja do odpajania się płaszczka zewnętrznego murów o grubości 0,5 cegły. Taki stan płaszczka — na wielu odcinkach murów obrotowych spowodowany był w dużej mierze pracami konserwatorskimi polegającymi na uzupełnianiu ubytków bez wiązania nowych cegieł z trzonem. Wiele szkód przyniósł pogląd uzależniający potrzebę wiązania z wielkością powierzchni odspojonego muru. Uzupełniane były kolejno leżące obok siebie fragmenty zniszczonego płaszczka o powierzchniach nie wymagających wedle założeń kotwienia; po kilku takich naprawach powstawały rozległe powierzchnie opłaszczowania przylegające do trzonu jedynie za pośrednictwem zaprawy. Powinna być kotwiona każda z cegieł płaszczka zewnętrznego murów ułożona główkowo. Nie dało dobrych rezultatów wiązanie przy pomocy sięgaczy — cegieł ułożonych główkowo — ponieważ jest bardzo trudno o właściwe osadzenie takiej cegły w wykutym gnieździe, a mikroskopijne spękania czerpu sprzyjają zniszczeniu jej przez ścięcie.

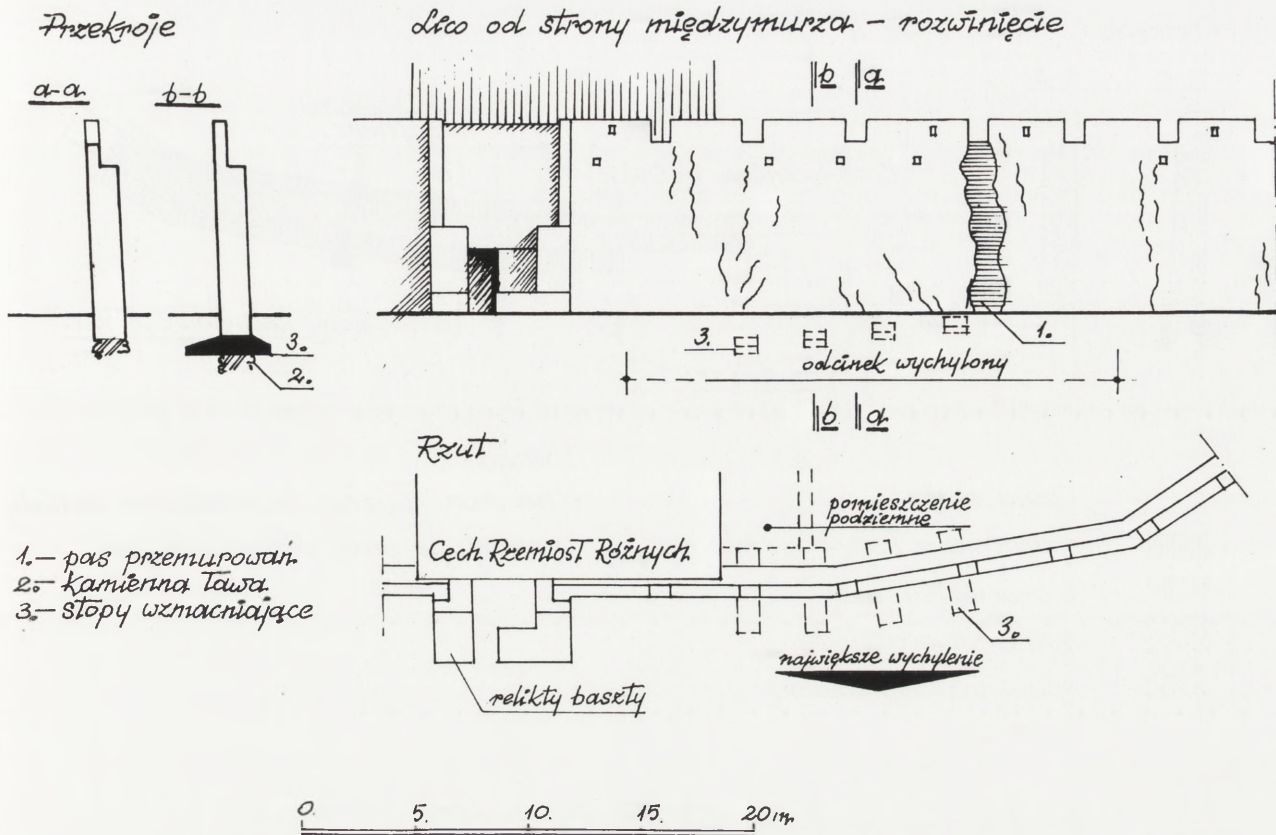
Poza spękaniem i degradacją powierzchniową substancji muru, w jego wnętrzu zarówno cegły jak i za-

prawa były w dobrym stanie. Orientacyjna klasa cegły wynosiła 10–15 (MPa), zaś marka zaprawy 0,5 (MPa). Odkrywki wykonywane już w trakcie prac konserwatorskich wykazały, że mur oryginalny ma konstrukcję jednolitą, tzn. niezależnie od stopnia regularności wiązań poszczególne warstwy ukształtowane są w całości cegłami spojonymi zaprawą. Odkrywki te potwierdziły również obecność pionowych spękań rozwarstwiających. Odnalezione w murze pionowe pręty wzmacniające ze stali, niezależnie od uszkodzeń korozyjnych, nie mogły mieć wpływu na pracę statyczną konstrukcji, wobec braku pełnej współpracy z odspojonymi elementami.

Równoległe z badaniami części nadziemnej muru przeprowadzone zostało rozpoznanie stanu technicznego fundamentów, rozszerzane później systematycznie w trakcie prowadzenia robót konserwatorskich. Mur na całej długości oparty jest na kamiennej ławie zbudowanej z otoczków granitowych o bardzo zróżnicowanej wielkości. Poziom posadowienia ławy obniża się w miarę zbliżania do miejsca przy kamienicy, gdzie ongiś była baszta. Na całym odsłoniętym odcinku pod spodem zalega grunt mineralny rodzimy rozpoznany jako piasek drobnoziarnisty. Grunty nasypowe w bezpośrednim sąsiedztwie konstrukcji zaczynają się tuż nad poziomem jej posadowienia. Ława nie jest związana zaprawą; przestrzenie między głazami wypełnione są miejscowym piaskiem. Warstwę wyrównawczą między ławą a murem stanowi zaprawa wapienna z gruzem ceglany i ułomkami granitu, bądź małymi otoczkami. W części najbardziej zagłębionej mur jest włączony w strukturę budynku Cechu Rzemiosł Różnych, pełni też rolę ściany niewielkiego pomieszczenia podziemnego przylegającego do tego budynku. Stan fundamentów związanych z piwnicami jest dobry. Lico skrywające się pod ziemią zostało obrzucone zaprawą i powleczone izolacją bitumiczną. Reperacje prawdopodobnie zostały wykonane po wojnie, w trakcie odbudowy Kamienicy Przy Bramie Rzeźniczej.

W strefie największego wychylenia fundamenty wzmocnione są czterema żelbetowymi stopami przystosowanymi do warunków mimośrodowego przeniesienia obciążeń. Poziom posadowienia stóp jest powiązany z górną powierzchnią kamiennej ławy. Są one zatem zawieszane ponad gruntem rodzimym, wspierając się na warstwie gruntu nasypowego o bardzo dużej niejednorodności.

Na odcinku położonym poza piwnicami budynku i przylegającym pomieszczeniem podziemnym, w obrębie posadowienia muru zwracał szczególną uwagę zły stan dwóch elementów fundamentowych. Pierwszym była warstwa wyrównująca poziom fundamentu kamiennego pod wyżej położoną konstrukcją murywaną z cegieł (od strony miedzymurza). Zaprawa w tej warstwie była przeważnie silnie zwietrzała, nawet na głębokości 20+25 cm licząc od lica muru. W wyższych warstwach, ale położonych poniżej poziomu terenu, destrukcja zaprawy między cegłami sięgała na



5. Wychylony odcinek muru, stan przed konserwacją

5. The deflection section of the wall, state prior to conservation

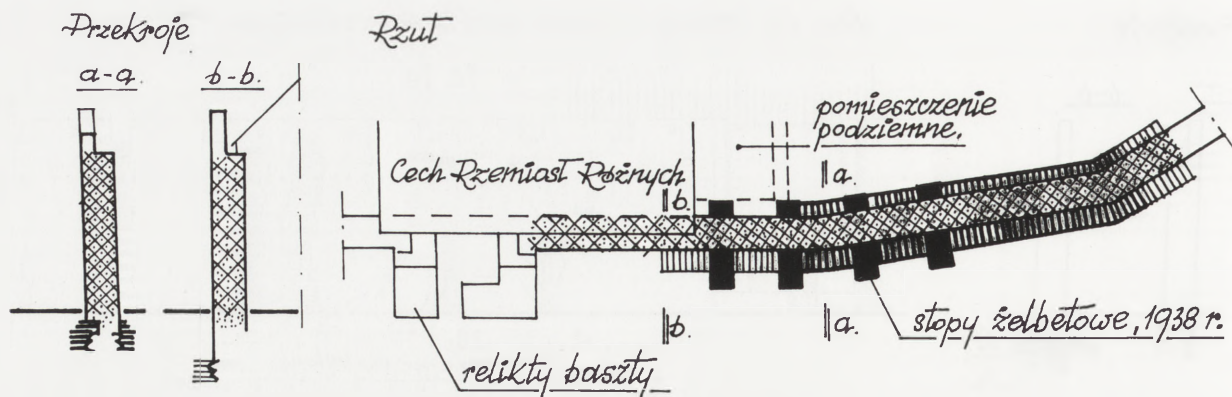
głębokość kilku centymetrów. Drugim elementem noszącym ślady głębokiej destrukcji materiałowej był sam mur i to również od strony, w której koncentrują się naprężenia ściskające w wyniku wychylenia całej konstrukcji. Uszkodzeniami rozpoznanymi w pełni już w trakcie robót, były silne spękania przypowierzchniowe cegieł i zaprawy powodujące rozwarstwienia w płaszczyznach równoległych do lica. Takie spękania dochodziły miejscami do dwudziestu kilku centymetrów w głąb muru.

Destrukcja muru i warstwy wyrównawczej wpłynęła na zmianę układu statycznego muru zmieniając w sposób niekorzystny warunki równowagi: przesunięcie teoretycznej linii podstawy poza linię działania wypadkowej wektorów ciężkości w pasie największego wychylenia. Było to groźne tym bardziej, że górna powierzchnia ławy ukształtowana z gładów, sprzyjała niekontrolowanym przesunięciom osłabionej zaprawy pod wpływem obciążenia i dalszym przesunięciom linii podstawy. System wzmocnień strefy fundamentowej żelbetowymi stopami zabezpieczył niewątpliwie w jakimś stopniu stateczność wychylonego odcinka muru; wprowadził bowiem konstrukcyjne podparcia zagrożonej krawędzi, pomimo posadowienia stóp na nieskompresowanym gruncie nasypowym. Jednak punktowe podparcie muru o tak niejednorodnej strukturze mogło wywołać zakłócenia w warunkach roz-

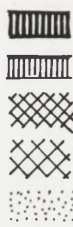
kładu naprężeń i w konsekwencji spękania; rysunek spękań od strony międzymurza sugeruje powiązanie ich ze wspomnianą przyczyną. Zwraca przy tym uwagę brak zarysowań na przeciwnej stronie muru, który był licowany po wykonaniu robót wzmacniających w 1938 r. Potwierdza to wniosek o wygaśnięciu ruchów konstrukcji muru. Jak można przypuszczać, zachowaniu tej konstrukcji w całości do obecnych czasów sprzyjały stosunkowo niewielkie naprężenia, które w warstwie wyrównawczej po stronie koncentracji nie przekraczają 0,1 MPa. Dla rozpoznania stanu technicznego wychylonego odcinka murów obronnych duże znaczenie miał fakt szybkiego postępu destrukcji struktury konstrukcyjnej, która została zaobserwowana w innych miejscach. Zmiany, które w niewielkim stopniu zaznaczały się w poprzednich latach, stały się bardzo wyraziste i stanowiły cenny materiał porównawczy.

Zebrany w trakcie badań materiał sygnalizował, że stan techniczny wychylonego odcinka muru jest zły, a ingerencja konserwatorska stała się koniecznością. Zaznaczyły się przy tym trzy strefy konstrukcyjnych zagrożeń, które pogłębiając się wzajemnie mogły doprowadzić do awarii. A więc przede wszystkim niejednorodność struktury konstrukcji muru, która przy wychyleniu zdecydowanie zagrażała jego stateczności; pogłębiała też szybkość procesów niszczących wywo-





Oznaczenia:



- wzmocnienie ławy i oparcia muru
- wzmocnienie ławy
- spinięcie przelotowe
- spinięcie nieprzelotowe
- iniekcja

Uwaga:

Ława muru, łącznie z krenelazem zostały wzmocnione przez wypełnianie

6. Wychylony odcinek muru, schemat rozwiązań technologicznych  
6. The deflection section of the wall, scheme of technological solutions

łanych wnikaniem wód opadowych. Druga strefa uszkodzeń, związana z fundamentami, zagroziła destabilizacją podparcia. I wreszcie trzecia strefa to rozległe uszkodzenia przy obu licach wpływające niekorzystnie na zmianę warunków pracy mechanicznej muru. Konieczność likwidacji tych trzech stref zagrożeń była punktem wyjścia do opracowania projektu konserwatorsko-konstrukcyjnego<sup>13</sup>.

**Konserwacja struktury konstrukcyjnej muru**

Badania przeprowadzone w 1988 r. objęły odcinek wychylony, łącznie z fragmentem muru obronnego, który został włączony do struktury budynku. Tak więc, adekwatnie do wyników, wzmocnienia konstrukcyjne części nadziemnej przeprowadzono na obu tych odcinkach o łącznej długości 28 m, poczynając od styku z relikdami baszty. Fundamenty, a więc kamienna ława i oparcie muru, wzmocnione zostały w części wolnostojącej, na odcinku poza pomieszczeniem przylegającym do piwnic kamienicy (15 m). Wzdłuż tego pomieszczenia, wobec dobrego stanu murów fundamenco-

wych, wykonano jedynie wzmocnienie kamiennej ławy (5 m); samą ławę wzmocniono także na pd.-zach. skraju konserwowanego odcinka (2,5 m).

Na określenie programu prac konserwatorskich złożyły się dwie fazy rozwiązań technicznych: projektowa i rozwiązania podejmowane doraźnie w czasie realizacji, a wynikające z poszerzającego się rozpoznania stanu technicznego w trakcie trwania robót. Dlatego też projekt nie jest omawiany oddzielnie, lecz łącznie z tą drugą fazą, jako element zrealizowanych już rozwiązań.

Na czas trwania robót mur został wsparty konstrukcją ciesielską typu zastrzałowego<sup>14</sup>; uzyskano podparcie ciągłe wiązarami pionowymi rozstawionymi co 195 cm. Zabezpieczony został w ten sposób sam odcinek wychylony (wolnostojący) poza częścią związaną z konstrukcją budynku Cechu Rzemiosł Różnych, gdzie wychylenie już zanika, posadowienie jest znacznie głębsze, a stan fundamentów dobry.

Prace konstrukcyjno-konserwatorskie przeprowadzone zostały w trzech etapach<sup>15</sup>. Rozpoczęto je od wzmocnienia strefy oparcia muru na kamiennej ławie fundamentowej, następnie wzmocniona została struk-

13. K. Maszewski z zespołem, op. cit.

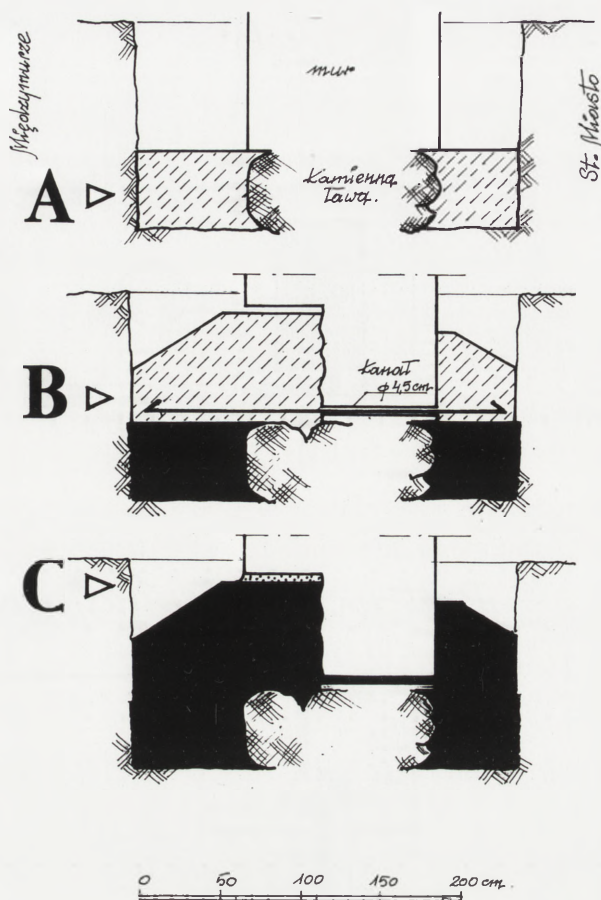
14. S. Sosnowski, *Tymczasowe podparcie muru obronnego — odcinek III przy ul. Szeroki Dunaj*, PP PKZ Oddział Koordynacji Eksportu — Pracownia Projektowa „Zamek” w Warszawie, 1989 r. (projekt), na zlecenie Dyrekcji Rozbudowy Miasta Warszawa-Wschód.

15. Prace konserwatorskie prowadzone były przez PP Pracownię Konserwacji Zabytków — Oddział Konserwacji i Badań, kierownictwo techniczne: kierownik pracowni K. Maszewski i kierownik robót T. Kowalski; konsultacje prof. dr hab. Jerzy Teliga.

tura samego muru i wreszcie przeprowadzono naprawę obu powierzchni elewacyjnych, bez podejmowania konserwacji warstw epidermicznych. W dalszej kolejności miała być rozwiązana problematyka zabezpieczenia przeciwwilgociowego korony i konserwacja epidermiczna.

W pierwszym etapie prac strefa oparcia muru została wzmocniona betonową ławą wprowadzoną na miejsce zniszczonego pasa znajdującego się od strony zwiększonych w wyniku przechyłu naprężeń. Ława została skotwiona z konstrukcją muru prętami stalowymi przechodzącymi przez wywiercone w nim kanały i zatopionymi w bloku betonowym po drugiej jego stronie. Cały ten układ został wsparty na betonowym podłożu wykonanym wzdłuż kamiennej ławy muru. Podłoże sięgnęło do wierzchu kamiennej ławy wypełniając szczeliny pomiędzy głazami i pełniąc jednocześnie rolę bloków oporowych. Prace prowadzone były odcinkami o długości do 120 cm, w trzech fazach technologicznych jako: wykonanie podłoża (A), wykonanie ławy (B) i podbicie muru (C). Stanu wykonanych przed 1939 r. stóp w czasie robót nie naruszono. Taki zakres wzmocnień wprowadzony został dla części wolno stojącej muru, zlokalizowanej poza pomieszczeniem podziemnym przylegającym do kamienicy. Tego rodzaju rozwiązanie ustaliło jednoznacznie sposób jego oparcia na fundamencie. Wzdłuż pomieszczenia podziemnego, wobec dobrego stanu muru, wykonano stabilizację samej ławy wylewając bloki oporowe na pełną jej wysokość.

Konstrukcja wzmocniająca wykonywana była odcinkami w wykopach wąskoprzestrzennych, których dno sięgało gruntu rodzimego — poziom ten odpowiadał poziomowi posadowienia głazów formujących ławę. Pręty zakotwień wykonane zostały ze stali 1H13, o zwiększonej odporności na korozję; kanały zainiektowano. Pręty te z ukształtowanym jednym hakiem wprowadzone były od strony wnęki wykutej w murze, następnie stabilizowane i zalewane betonem; dopiero po jego stwardnieniu wykonywano haki po stronie przeciwnej i wylewano blok oporowy. Kanały zostały przewiercone w rozstawie co 33 cm, w każdym z nich umieszczono po dwa pręty kotwiące  $\varnothing 11$ . Lico muru na styku z tym blokiem zostało uprzednio dokładnie oczyszczone; usunięto również zwietrzałe części spoin, przez co stworzone zostały lepsze warunki współpracy między oboma elementami. Pomiędzy ławą a stropem wnęki wykutej w murze pozostawiona była szczelina o wysokości ok. 5 cm, którą wypełniono po czterech dniach zaprawą przez podbijanie. Wyeliminowany został w ten sposób niekorzystny wpływ skurczu bloku betonowego na szczelność podbicia. Do formowania elementów wzmocnień użyty był beton B15, podbicia wykonano zaprawą cementowo-wapienną marki 5 (MPa). Zaprawa dla zmniejszenia skurczu była intensywnie nawilżana.



7. Fazy wzmocniania fundamentów

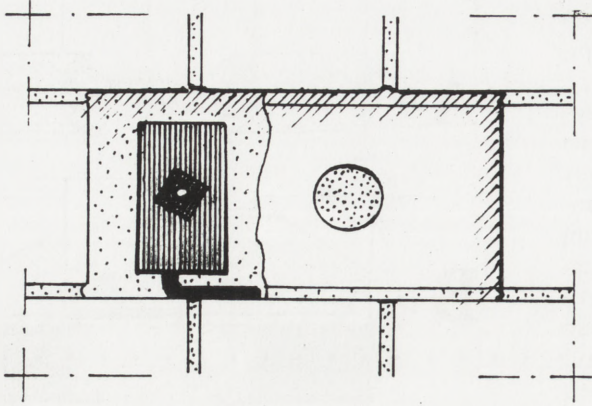
7. Phase of reinforcing the foundations

Głębokie zniszczenia strefy fundamentowej od strony międzymurza mogły spowodować naruszenie chwiejnej równowagi muru już na początku prac konserwatorskich. Zapewne więc jakaś część odcinka wychyłnego prawdopodobnie była wsparta na drewnianej konstrukcji zabezpieczającej, do czasu przejścia naprężeń przez nowe elementy wzmocniające fundament.

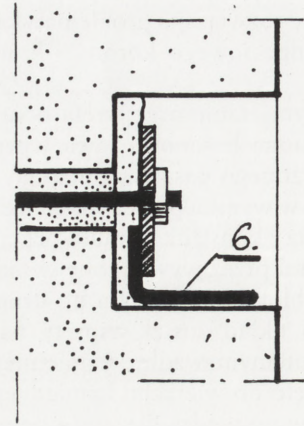
W drugim etapie prac — wzmocnienia konstrukcji muru — przedmiotem zabiegów konserwatorskich był jego trzon, tzn. część między fundamentem a chodnikiem straży. Prace polegały na spięciu rozwarstwionych stref stalowymi prętami, osadzonymi w kanałach wywierconych prostopadle do lica, a następnie na zmonolityzowaniu struktury iniekcją uszczelniającą.

Układ spinający wyznaczony był na siatce nawiązującej do układu wątków, z tych samych miejsc przeprowadzono iniekcję. Odległości między punktami kotwień wynosiły na ogół 70–80 cm w poziomie i ok. 50 cm w pionie. Sposób przeprowadzenia spinania i iniekcji dla obu części muru: wolnostojącej i związanej z budynkiem był odmienny. Powodem była różnica w ukształtowaniu kanałów, które w tej drugiej części nie mogły być przelotowymi (wnętrze budynku).

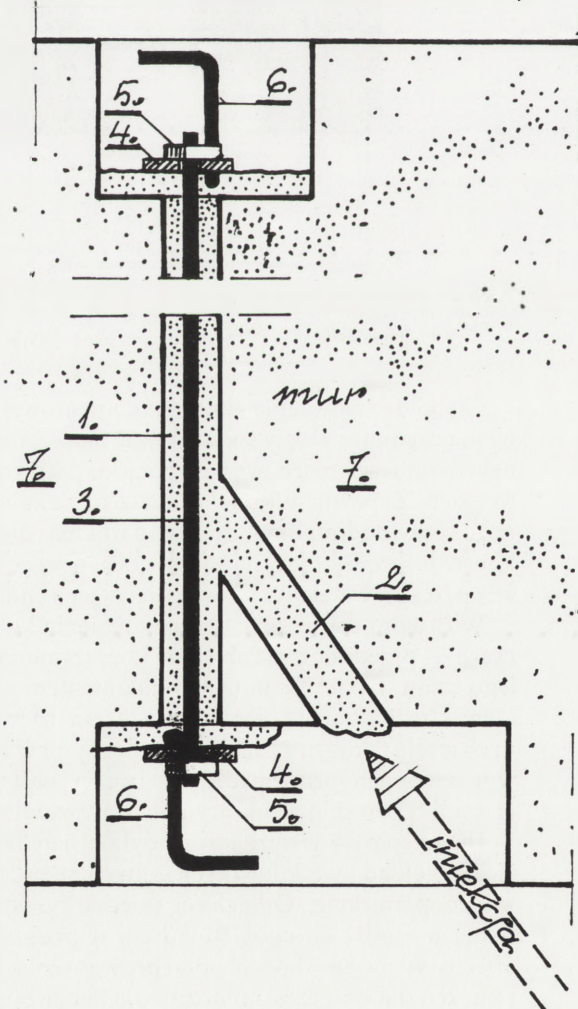
Włók wnęki



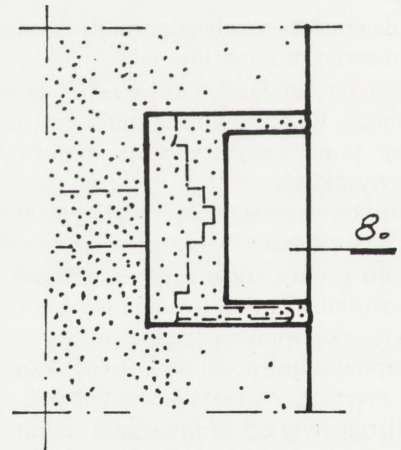
Przekrój przez wnękę



Rzut układu spinającego



Maskowanie wnęki



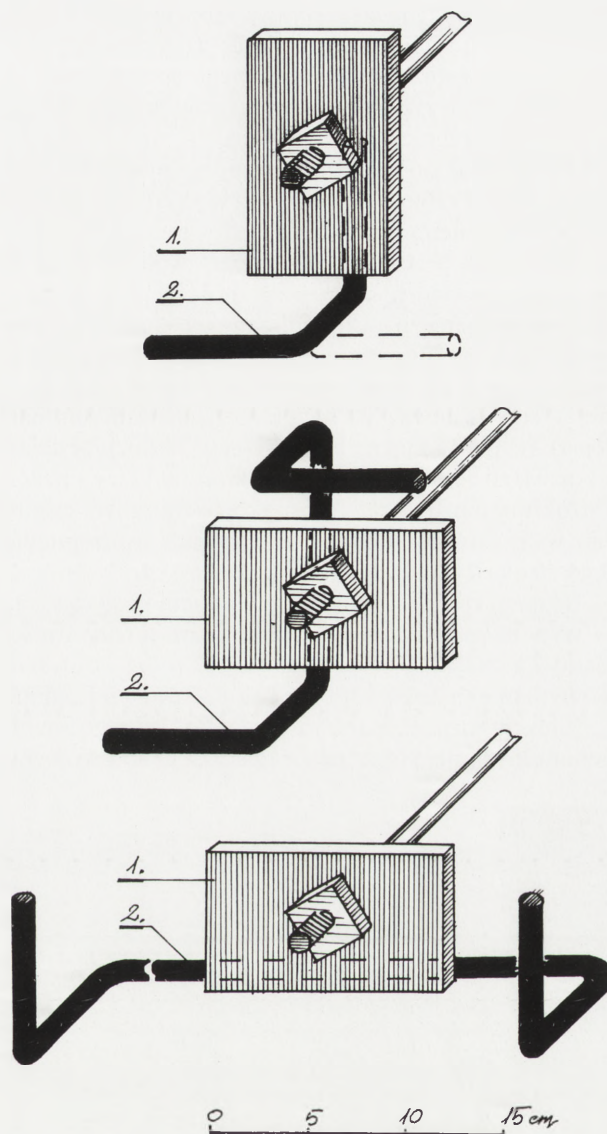
8. Układ spinający po wykonaniu iniekcji: 1 — kanał poprzeczny; 2 — kanał ukośny; 3 — pręt spinający; 4 — blacha oporowa; 5 — nakrętka; 6 — spinacz; 7 — iniekt rozprowadzony we wnętrzu muru; 8 — płytki ceglana

8. The clamping configuration after the injections: 1 — horizontal canal; 2 — diagonal canal; 3 — clamping rod; 4 — resistance plate; 5 — nut; 6 — clamp; 7 — the injection inside the wall; 8 — brick plate

Kanały wykonywane były wiertnicą rdzeniową przez ścieranie materiału koronką diamentową, a urobek spłukiwany przepływającą stale wodą. W ten sposób wyeliminowano drgania w czasie prac i uzyskano wstępną nawilżenie dla iniekcji uszczelniającej. Przy wykonywaniu kanałów przelotowych przyjęta została zasada nawiercania główki cegieł od strony lepiej zachowanej powierzchni, co pozwoliło na ograniczenie ubytków substancji cegieł przy wykuwaniu gniazd na blachy oporowe. Nie można było bowiem przewidzieć w jakim miejscu kanał przetnie drugie lico muru. Na tym drugim lico wykonywano na ogół wnęki większe (długości cegły) mieszczące również wlot kanału ukośnego, przeznaczonego do wprowadzenia iniektu. Ścianki kanałów były dokładnie oczyszczane strumieniem wody wypływającym pod wysokim ciśnieniem. Dna kanałów nieprzelotowych oddalone są od wewnętrznego lica muru na odległość 15–20 cm.

Spinanie przelotowe muru wolnostojącego w wywierconych kanałach prętami dwustronnie nagwintowanymi następowało przez dociśnięcie nakrętkami blach oporowych do wyrównawczej warstwy zaprawy, co wykonywano w każdym miejscu dwukrotnie: jako czynność wstępną, gdy zaprawa była plastyczna, i skotwienie właściwe, gdy zaprawa osiągnęła wytrzymałość 14-dniową. Przy czym stosowano bardzo nieznaczne siły, aby nie spowodować miejscowych odkształceń. Opisany układ spinający, przy koniecznym ze względów konserwatorskich ukrywaniu blach oporowych, musiał być uzupełniony elementami pozwalającymi na uchwycenie licowych warstw muru o grubości pół cegły. Warstwy te wykazywały miejscami silne skłonności do odpajania. Wprowadzone zostały zatem spinacze, które uzbroidły spoiny na zewnątrz blach oporowych, same zakotwione za ich krawędziami. Zamknięty z obu stron kanał służył w drugiej fazie robót do rozprowadzenia iniektu wewnątrz muru, przy czym sam również był wypełniony zaprawą. Iniekcję prowadzono z krótkiego, ukośnego przewiertu łączącego kanał z powierzchnią muru; stosowano spoiwa mineralne.

W odmienny sposób rozwiązana została technologia spinania i iniekcji kanałów nieprzelotowych. Jednostronne spłycenie strefy spinania muru związanego z konstrukcją budynku było co prawda wymuszone warunkami, ponieważ nie było możliwości prowadzenia prac we wnętrzu budynku. Niemniej jednak tego rodzaju spinanie (nieprzelotowe) uznane zostało za wystarczające, ze względu na usztywnienie tej części muru stropami i poprzecznymi ścianami budynku. Z konieczności iniekcja była tu pierwszą fazą robót. Następnie do kanału wypełnionego świeżą zaprawą wciskany był pręt z nakrętką jako elementem kotwiącym. Nakrętka powodowała w czasie przesuwania zagęszczenie iniektu w kanale, zaś lekkie uderzenia po ustabilizowaniu pręta pozwalały na dokładne zatopienie jej w zaprawie. Przeprowadzone próby wytrzyma-



9. Rodzaje spinaczy: 1 — blacha oporowa; 2 — spinacz  
9. Types of clamps: 1 — resistance plate; 2 — clamp

łości takiego kotwienia wypadły pomyślnie. Po związaniu zaprawy w kanale na wystającą część pręta kotwiącego zakładano blachę. Kształtowanie zewnętrznego zakotwienia w tym wypadku było identyczne jak dla kotwienia prętów w kanałach przelotowych.

W opisanych pracach istotne znaczenie miało precyzyjne dobieranie długości prętów, w związku ze znacznymi różnicami grubości muru w poszczególnych miejscach. Dlatego też każdy kanał mierzony był oddzielnie i oznaczany numerem, a następnie indywidualnie dopasowywano długość pręta z nagwintowanymi końcówkami; oznaczane numerem kanału i łączone z blachami oporowymi skrywały się we wnękach.

Odrębnym problemem technologicznym jest sama iniekcja. Mur jest środowiskiem składającym się z dwóch zespołów materiałowych: naturalnych lub sztucznych

(ceramicznych) kamieni i zaprawy, która je spaja. W procesach restauracji murów, w których środowiskiem osłabionym jest zaprawa, dobór nowego spoiwa staje się poszukiwaniem takich jego parametrów fizycznych, aby ingerencja techniczna, polegająca na wprowadzeniu „ciała obcego” do struktury muru, nie była powodem powstawania zaburzeń fizycznych w jego pracy. Zasadniczymi parametrami w tym względzie są: budowa kapilarna, skurcz, przepuszczalność pary wodnej, nasiąkliwość, mrozoodporność, rozszerzalność cieplna, wytrzymałość mechaniczna. Ujednolicone relacje fizyczne powinny być zachowane nie tylko pomiędzy nową zaprawą a cegłami, ale przede wszystkim pomiędzy zaprawami — starą i nową. Jak wynikało z doświadczeń, najlepsze rezultaty można było osiągnąć różnicując skład i konsystencję iniektu — w zależności od fazy iniekcji i struktury muru — przy stosunkowo znacznym ciśnieniu wstrzykiwań. Wzmocnienie muru i uszczelnienie jego struktury było osiągnięte w procesach:

- regeneracji starej zaprawy mleczkiem spoiwowym,
- wypełniania zaczynem drobnych rys o rozwarości do 2 mm,
- wypełniania zaprawą rys i pęknięć powyżej 2 mm.

Iniekcję rozpoczynano zatem od dokładnego nawilżenia określonej strefy muru mleczkiem spoiwowym;

intensywność i sposób rozchodzenia się tego iniektu był podstawą do doboru dalszych: zaczynu bądź zaprawy. Dla występujących dosyć często spękań o znacznie zróżnicowanej pojemności szczelin stosowano wszystkie trzy procesy uszczelniania. Zwracano przy tym uwagę, aby w większych szczelinach w procesie iniekcji zaprawy następowała zamiana podawanego wcześniej zaczynu na zaprawę poprzez wyciśnięcie nadmiaru tego pierwszego na zewnątrz. W trakcie prac ciśnienie było zmieniane w zależności od rodzaju iniektu i stanu wzmacnianego miejsca. Większe ciśnienia stosowano przy wprowadzaniu zapraw w strefę muru oddaloną od krawędzi (chodnika straży) przynajmniej o 100 cm, przy czym na wejściu nie przekraczano 0,5 MPa. Zastanawiać może znaczna wysokość tej górnej granicy ciśnienia w odniesieniu do parametrów wytrzymałościowych muru; miała ona jednak wpływ miejscowy wobec szybkiego spadku ciśnienia rozprzyskującego się iniektu.

W niektórych przypadkach trudnością dodatkową była konieczność wprowadzenia iniektu do płytko położonych odspojeń, tzn. takich, które przy znacznej rozległości położone były w odległości pół cegły od lica muru. Stosowano wówczas dodatkową iniekcję,



10. Mur obronny widziany od strony Starego Miasta po wykonaniu prac wzmacniających. W trakcie naprawy powierzchni muru gniazda kryjące kotwy zostały zamurowane płytkami ceglanyimi. Fot. T. Kowalski

10. Defensive wall seen from the Old Town after the completion of reinforcement work. In the course of the repair of the wall surface the pockets concealing the braces were walled up with brick plates. Photo: T. Kowalski

ale o niskim ciśnieniu i przy użyciu pipet o mniejszej średnicy, mieszczących się w grubości spoiny.

Proces uszczelniania prowadzony był kolejno pionowymi pasami o szerokości obejmującej trzy, cztery otwory, w układzie wstępującym, tzn. przy zachowaniu kierunku posuwania się prac z dołu do góry. Podawanie iniektu w danym miejscu prowadzono do czasu ukazania się wycieków w otworach następnego rzędu położonego powyżej i w otworach bocznych dotychczas nie iniektowanych. Istotnym wskaźnikiem prawidłowości rozchodzenia się wprowadzonych do wnętrza muru zaczynów i zapraw była obserwacja przesączania się ich na zewnątrz szczelinami w spoinach.

Krenelaż o grubości 1,5 cegły nie wymagał stosowania opisanych wyżej zabiegów. Wystarczającym okazało się oczyszczenie szczelin pomiędzy ceglami i powtórne wypoینowanie.

Iniekcje wykonywane były materiałami mineralnymi: spoiwa — wapno hydratyzowane namaczone przed użyciem przez jeden miesiąc i cement biały marki 25 „Wejherowo”, oraz kruszywo — piasek krzemionkowy 0,5 mm (szklarski). Dla trzech rodzajów iniektu: mlecza spoiwowego, zaczynu i zaprawy przyjęto następujące receptury:

- dla mlecza spoiwowego c:w — 1:3, woda do konsystencji mleka,
- dla zaczynu c:w — 1:3, woda do konsystencji 15 cm (stożka),
- dla zaprawy c:w:p — 1:3:10, woda do konsystencji 12,5+13 cm (stożka).

Niezależnie od tego, że zastosowany sprzęt zabezpieczał przed rozsegregowywaniem się poszczególnych zarobów, kontrolowany był czas sedimentacji, który dla zapraw wynosił ok. 60 min. Zdecydowano o zastosowaniu zaprawy tłustej ze względu na większą podatność takich zapraw na technikę iniekcijną. Wytrzymałość 28-dniowa tej zaprawy wyniosła 0,5 MPa. Iniektu przygotowywane były i podawane agregatem tynkarskim typu AS 10 Mb/c. Zużycie iniektu w poszczególnych punktach było na ogół równomierne. Zwiększone zużycie zaznaczyło się jedynie w miejscach o znacznych spękaniach poprzecznych i o widocznie uszkodzonej strukturze. Przeciętnie do każdego otworu wprowadzono ok. 6 l zaczynu i taką samą ilość zaprawy. Dla całego zabezpieczonego odcinka muru ilości te wyniosły po 2718 l, co z pominięciem wody zarobowej daje dociążenie: od zaczynu 530 daN i od zaprawy 3070 daN, łącznie 3600 daN. Na 1 cm<sup>2</sup> fundamentu — w obrysie kamiennej ławy — dociążenie to ma wartość nie przekraczającą 0,01 daN, czyli bez praktycznego znaczenia dla pracy konstrukcji. Elementy spinające: pręty Ø12, spinacze Ø11, blachy oporowe ≠ 8 i nakrętki zostały wykonane ze stali 1H13 (o zwiększonej odporności na korozję). Przy wykonywaniu spinaczy pręty były wyginane na gorąco w kuźni

polowej. Gwintowanie prętów było poprzedzane termicznym zmiękczeniem stali.

W trzecim etapie prac — naprawie obu powierzchni muru — lica zostały oczyszczone, zamaskowano gniazda kryjące zakotwienia stalowych prętów, wykonano też niezbędne uzupełnienia uszkodzonych cegieł i spoinowanie. Powstał problem konieczności wymiany wielu uszkodzonych w różnym stopniu cegieł oryginalnego lica od strony międzymurza. Przyjęto zasadę minimalnej ingerencji, rezygnując z efektów estetycznych muru „ładnego”. Dlatego zachował się w dużej mierze jego dotychczasowy charakter. Do flegowania gniazd używano płytek ceglanych o kilkunastocentymetrowej grubości, które były pasowane indywidualnie dla każdego z nich; do wycinania używano stacjonarnej piły z tarczą diamentową. Szczeliny spoin oczyszczane były wodą pod ciśnieniem 0,5–1,0 MPa. Do spoinowania zastosowano zaprawę opartą na recepturze iniektu, dostosowując do potrzeb konsystencję. Była ona częściowo barwiona dodatkami pyłu ceglano i cementu szarego dla ujednoczenia barwy ze spoinami zachowanymi, o bardzo zróżnicowanych odcieniach.

Po zakończeniu całości prac nasuwa się pytanie — jaki jest stan murów obronnych Starego Miasta według oceny dokonanej na podstawie doświadczeń zebranych w czasie konserwacji oraz w wyniku obserwacji uszkodzeń murów poza odcinkiem wychylonym. Jak można przypuszczać, rozwarstwienia i rozrzedzenia struktury nie są wyjątkiem, a wręcz przeciwnie — na znacznych odcinkach obraz jest analogiczny. Stwarza to w wielu miejscach stan zagrożenia, szczególnie tam, gdzie mur pracuje jako ściana oporowa<sup>16</sup>. Są to jednak problemy wymagające odrębnego omówienia. Niemniej jednak należy zaznaczyć, że w chwili obecnej reperacje wymagają daleko bardziej skomplikowanych zabiegów konserwatorskich niż flegowanie ubytków cegieł i spoinowanie miejsc pozbawionych zaprawy.

Dla racjonalnej ochrony murów, pozostających pod pełnym wpływem czynników atmosferycznych, które niosą ze sobą najrozmaitsze zanieczyszczenia, konieczna jest konserwacja epidermiczna wszystkich jego powierzchni. Ma to podstawowe znaczenie również dla struktury wewnętrznej. Kontynuowanie tego rodzaju tematyki, podjętej już w jakimś zakresie przez PKZ, jest w dalszym ciągu sprawą palącą. Konieczna jest również obserwacja stabilności wychylonego odcinka murów za pomocą metod geodezyjnych.

Od czasu, kiedy realizowane były opisane prace konserwatorskie, diametralnie zmieniło się zaopatrzenie materiałowe rynku. Z wielkiej różnorodności dostępnych materiałów na pewno celowe byłoby wybranie innego gatunku stali — bardziej odpornego na korozję oraz innego wapna — zapewne z dodatkiem pucolanów (trasu). Fizyka pracy murów pozostaje jednak niezmienna.

16 J. Teliga, *Mury obronne Starej Warszawy — ekspertyza techniczna*, Politechnika Warszawska, Instytut Podstaw Rozwoju Architektury,

1977 r., na zlecenie Urzędu m.st. Warszawy, Wydziału Kultury i Sztuki.

## Reinforcement of the Construction of a Deflected Section of the Defensive Walls of the Old Town in Warsaw

The defensive walls of the Old Town in Warsaw are preserved to the north-west and south-west. This section was most developed, since flat terrain did not offer any protection against possible attacks. The state of the preservation of the walls is extremely differentiated; the largest amount of the original substance is extant in the outer walls, but, as a rule, it is the lower parts which are faced in successive conservation preparations. The whole length (together with the crenellation) preserved a fragment of the inner circuit of the walls, immediately next to the House by the Butchers' Gate; to the north, it closes Szeroki Dunaj Street. This fragment attracts our attention due to a considerable deflection towards the space between the walls. Technical research performed for many years demonstrated that the stability of the walls was preserved, assuming the uniform structure of the walls and a safe transference of the load by the foundations and the ground in the spot of the greatest deflection. The last phase of research distinguished two missing elements: the uniform structure and the regularity

of the cooperation of the foundations. The former was examined by means of the radar method (emission of electromagnetic waves) and the isotope method (emission of  $\gamma$  radiation). Apparently, the wall structure is not uniform, and stratifications divide the shaft along planes parallel to the face. The foundations, formed of granite rocks and with a destroyed levelling stratum, comprising the basis for the brick wall, were not suitable support for the deflected wall. The project of construction protection thus contained two trends of solution: the monolithisation of the shaft (diagonal clamping and an injection of mortar and cement paste) and the reinforcement of the foundation (shaping stable support with attention paid to the eccentricity of load of the walls). Conservation work was realised in 1990–1991 by the Ateliers for the Conservation of Historical Monuments — the Department of Conservation and Studies. The article contains a discussion of the research, project and realisation problems of the construction-conservation protection of the deflected section of the defensive walls of the Old Town in Warsaw.