Łukasz Wesołowski*

Budowa stropu w kamienicy mieszkalnej metodą górniczą – studium przypadku

Construction of a structural ceiling in a tenement house using mining technology – a case study

Słowa kluczowe: stropy wspierające, zabezpieczenie podłóg na gruncie, budowa piwnic pod budynkami istniejącymi, metody górnicze w architekturze

Key words: supporting structural ceilings, securing ground-based floors, basement construction under existing buildings, application of mining technology in architecture

WSTĘP

Cykl życia obiektów budowlanych z reguły wynosi dziesiątki lat. Podczas dekad użytkowania wymagane są interwencje budowlane w celu zapewnienia odpowiedniego standardu użytkowania, bezpieczeństwa czy podstawowego funkcjonowania. Bardzo często dochodzi do zmiany w strukturze własności czy zapotrzebowaniu na dostosowanie do zmieniającego się przeznaczenia budynku. Ponieważ od zawsze wznoszenie budynków wymagało znacznych nakładów finansowych, naturalną sytuacją jest utrzymanie ich we właściwym stanie technicznym. Modernizacje architektoniczne były podporządkowane kompromisowości ze względu na ograniczoną możliwość transformacji elementów konstrukcyjnych budynku, a co za tym idzie, ogólnej niezmienności kubatury wewnętrznej. Rozwój technologii budowlanych oraz studia nad fizyką budowli pozwalają obecnie na imponujące zabiegi, jak choćby możliwość przeniesienia budynku (w całości lub jako kontrolowaną rozbiórkę i odbudowę w nowej lokalizacji) czy budowę nowych struktur bezpośrednio pod istniejącymi obiektami budowlanymi. Zabiegi takie oczywiście wiążą się ze znacznie większymi nakładami niż te z wachlarza podstawowych technik adaptacyjnych, które charakteryzują się nieznaczną inwazyjnością i niskim

INTRODUCTION

The life cycle of buildings usually extends over many decades. Many years of use is associated with numerous construction interventions into the building structure aimed at ensuring compliance with required standards, assuring safety or fulfilling basic functional needs. Changes in ownership structure or in building function often result in adaptation work. Construction of a building has always involved considerable investment, so it is only natural that existing buildings need to be maintained in a satisfactory technical condition. Architectural modernisation has been always subject to compromise due to the limited potential for transforming structural elements of the building and the necessity of keeping the internal volume unchanged. Modern development of construction technologies along with studies related to the physics of a building bring with them impressive opportunities such as relocation of existing buildings (the structure as a whole or through a controlled process of disassembly and reassembly in a new location) or constructing new structures directly under existing buildings. Such projects demand a much higher investment than projects making use of basic adaptation techniques, as they are characterised by a limited scope of intervention into the existing structure, low level of complexity and lower skill requirements.

* dr inż. arch., Politechnika Krakowska, Wydział Architektury, Instytut Projektowania Budowlanego

* *dr Łukasz Wesołowski, Cracow University of Technology, Faculty of Architecture, Institute of Building Design*

Cytowanie / Citation: Wesołowski Ł. Construction of a structural ceiling in a tenement house using mining technology – a case study. Wiadomosci Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation 2016;46:66-75

Otrzymano / Received: 05.04.2016 • Zaakceptowano / Accepted: 25.04.2016 **doi:10.17425/WK45TENEMENT**

Praca dopuszczona do druku po recenzjach *Article accepted for publishing after reviews*

stopniem skomplikowania i wymagań co do umiejętności. Realizacje takie bardzo często prowadzone są w obiektach o szczególnej wartości kulturowej, przy pracach adaptacyjnych przystosowujących budynek do nowych funkcji. Decyzje o podjęciu nietypowych zabiegów konstrukcyjnych mogą również wynikać z bilansu ekonomicznego, który uniemożliwia wyłączenie lub ograniczenia funkcjonowania powierzchni użytkowych budynku.

STUDIUM PRZYPADKU

Podejmuje się wiele prób badawczych lub o charakterze prototypowym, które łączą osiągnięcia i techniki wykorzystywane w różnych dziedzinach inżynierii. Niniejszy artykuł powstał na bazie analizy przypadku budowy pomieszczeń piwnicznych poprzez budowę metodą górniczą stropu pod posadzką na gruncie w kamienicy w Krakowie. Czterokondygnacyjny budynek mieszkalny z lokalami użytkownymi w parterze posiadał podpiwniczenie pod częścią rzutu parteru. Układ konstrukcyjny budynku oparty był na ścianach ceglanych ze stropami żelbetowymi. Intencją właściciela było podpiwniczenie całego rzutu budynku, poprzez wprowadzenie stropów bezpośrednio pod posadzką na gruncie parteru bez jej demontażu. Takie przypadki spotyka się wówczas, gdy posadzki posiadają wartościowe wykończenie lub nie występuje możliwość wyłączenia pomieszczenia z użytkowania, demontażu warstw posadzki i wkopania się w dół. Pierwszym etapem prac było wykonanie przebicia właściwego w ścianie piwnicy. Otwór powinien zapewniać dostęp pomiędzy główną komunikacją – klatką schodową lub korytarzem oraz przestrzenią pod przyszłe zagospodarowanie. Powinien być również tak umiejscowiony, aby mogły być z niego prowadzone prace ziemne oraz zaopatrzenie – czyli prostopadle do przewidywanej rozpiętości i lokalizacji nowo powstającego stropu. Otwór zabezpieczony zostaje właściwym nadprożem ze względu na rozpiętość otworu oraz obciążenia pochodzące z wyższych pięter budynku.

Wykonany otwór dostępowy może mieć charakter tymczasowy lub ostateczny, jednak ze względu na konieczność zachowania niewielkiego zakresu pola prac na początkowym etapie nie powinien być szerszy niż 1,0 m. Przez otwór dokonuje się podkopu o wymiarach w rzucie 1,0 × 1,0 m, umożliwiającego kontynuowanie prac i właściwe zabezpieczenie warstw istniejącej posadzki. Na wstępnym etapie prac konieczne jest wykonanie odkrywki pozwalającej na ustalenie właściwych warstw posadzki. Jeżeli wierzchnie warstwy podłogi są wyjątkowo cenne, można określić właściwą technologię warstw od spodu lub wykonując niszę w ścianie. Pozwala to określić wysokości poszczególnych warstw, ich stan techniczny oraz dobrać właściwy poziom stropu zabezpieczającego. W wykonanym podkopie instaluje się tymczasowe zabezpieczenie w formie płytowego podparcia warstw posadzkowych oraz podstemplowania. Powierzchnia

They are often undertaken in architectural structures of high heritage value during adaptation work aimed at preparing the building for a new function. Decisions to undertake non-standard structural interventions may also result from economic reasons, when it is impossible to limit or suspend the on-going use of building spaces during construction work.

CASE STUDY DESCRIPTION

Numerous attempts have been made to test or prototype techniques which bring together achievements and methods from different engineering fields. This paper presents a case study of constructing basement space using mining technologies and methods to construct a structural ceiling under an existing floor on ground in a tenement house in Kraków. The four-storey residential building with commercial space on the ground floor had a basement extending under only part of the ground floor. The building structure comprised brick walls and reinforced concrete floors. The owner of the building sought to construct a basement extending under the whole footprint of the building by introducing structural ceilings directly under the existing ground floor structures without disassembling them. Such interventions are usually used when the existing flooring is very valuable or where there is no possibility of suspending use of the space to allow disassembly of the flooring and excavation work. The first stage of work involved making an appropriate opening in the basement wall. The opening had to assure access from the main communication passage – the staircase or a corridor – to the space which is to be created for future use. It also had to be located in a way that would allow carrying out excavation work and supplying necessary equipment and materials. With this in mind, the opening had to be at a right angle to the planned span and location of the structural ceiling to be constructed. The opening was secured with a lintel appropriate to the span of the opening and the loading from the upper structure of the building.

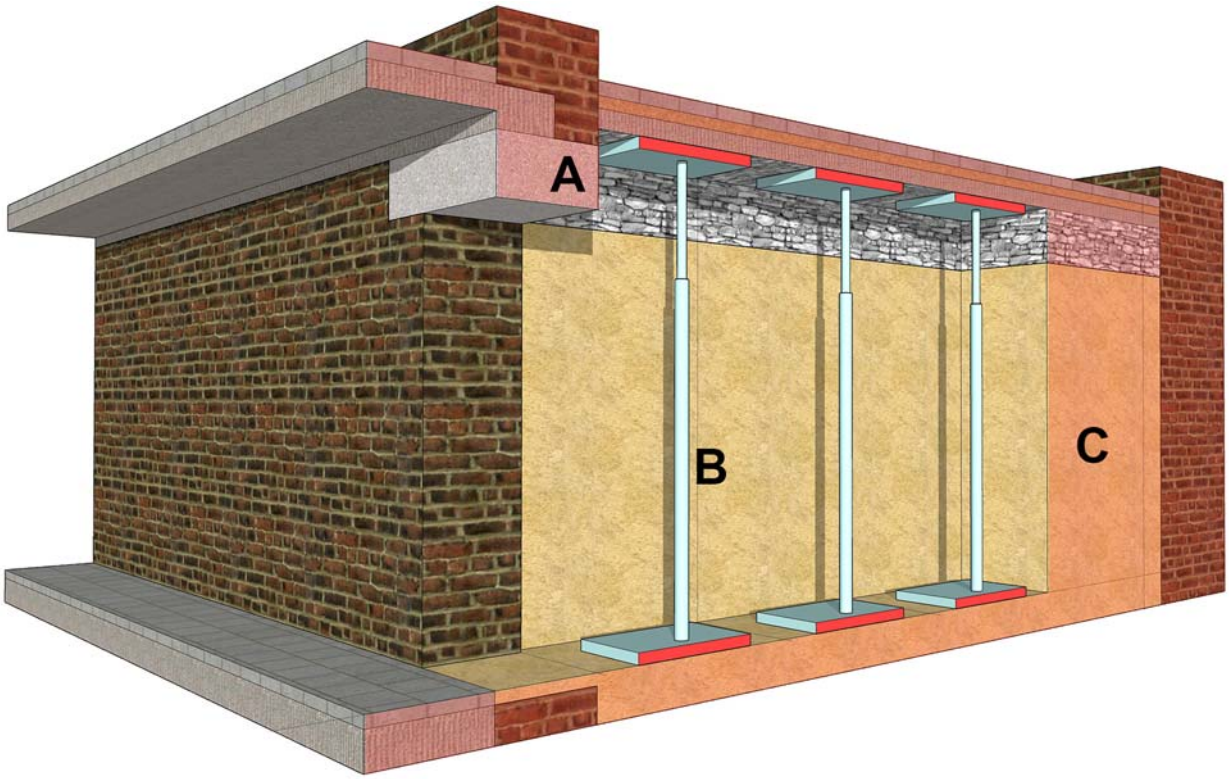
The opening could have been temporary or permanent, but as the extent of work at the initial stage was limited, its width could not exceed 1.0 m. The opening enabled excavation of a space 1.0 × 1.0 m in dimension, which allowed work to be continued and to secure the existing floor structure above in an appropriate way. It was necessary to make an exposure to determine the layout of the existing floor structure layers at this initial stage of work. In a situation where the surface finish of the floor is of high value, it is possible to determine the technology and arrangement of the structural layers of the floor from underneath or by cutting a niche in the wall. This enabled determination of the thickness of subsequent layers, their technical condition and selection of the appropriate level of the structural ceiling to be constructed so as to assure support. The undercut was also used to install a temporary slab support for the existing floor and for shoring it up. The supporting slab had to have a surface area matching the distance between

płyty wsporczej powinna być dobrana do odległości pomiędzy docelowymi elementami konstrukcyjnymi. Zabezpieczona sekcja zostaje następnie rozszerzona o kolejne pole o wymiarach 1,0 × 1,0 m w kierunku wzdłuż przewidywanego ułożenia belek wsporczych (ryc. 1). W przypadku szczególnie niekorzystnego złożenia warstw posadzkowych możliwe jest wkopanie o mniejszej głębokości. Kolejna sekcja zostaje zabezpieczona płytą wsporczą i stemplem. Wykop pogłębia się do dowolnego poziomu, który zapewni możliwość przeprowadzenia dalszych prac. Kluczowe dla prac i bezpieczeństwa stropu jest jednokrotne stemplowanie bez późniejszego regulowania czy zmiany wysokości podpór. Poziom posadzki roboczej ma umożliwić odpowiednie funkcjonowanie w wykopie i do momentu całkowitego wykonania konstrukcji stropu jest tymczasowy. Posadzkę należy zabezpieczyć w pełnym pasie pomiędzy ścianami nośnymi.

Kolejnym etapem jest wykonanie w ścianach konstrukcyjnych gniazd do osadzenia belek konstrukcyjnych. Głębokość wnęk dostosowana jest do materiału konstrukcyjnego i wytrzymałości ścian. Typowy zabieg wymaga osadzenia nowej belki na głębokości od 1/3 do 1/2 szerokości ściany. Pod poziomem osadzenia belki wykonuje się poprzeczne wzmocnienie otworu umożliwiające rozproszenie sił skoncentrowanych w punkcie osadzenia na większą powierzchnię ściany. Czynność ta jest podstawowym zabiegiem przy modyfikacji tkanki istniejącej i nie jest czynnością

the planned and permanent structural elements. When an excavated section is secured, it can be extended with another space of 1. 0 × 1.0 m in dimension in the direction of the planned arrangement of supporting beams (fig. 1). In the event of an extremely unfavourable arrangement of structural layers of the existing floor, it is possible to limit the depth of the excavation. The next section is then secured with a supporting slab and shored up. The undercut can be carried out to any depth, which will allow sufficient access to enable work to be continued. Single shoring without subsequent modification of the height of supporting posts is crucial to safeguarding the existing floor structure above and for enabling further work. The level of the working floor needs to enable proper functioning in the excavated space and is temporary until the structure of the new structural ceiling is completed. The floor structure has to be secured along the whole distance between the load-bearing walls.

The next stage of work involved cutting slots for mounting structural beams in the structural walls. The depth of the slots depended on the type of building material used and the strength of walls. Typically, the new beam had to be inserted into the wall to 1/3 or 1/2 of the wall's thickness. A transversal reinforcement of the slot is usually installed below the level at which the beam is mounted in order to enable distribution of forces concentrated in the point of fixture onto the larger surface of the wall. This is one of the basic methods used to modify existing building structures and is a relatively straight-



Ryc. 1. Poglądowy przekrój przez podziemną część budynku: A – nadproże nad przebiciem w ścianie; B – podpora tymczasowa z płytowym wzmocnieniem stropu oraz stopą; C – kolejna sekcja podkopu o wymiarach 1,0 × 1,0 m; opracowanie własne

Fig. 1. A cross-section showing the underground part of the building: A – the lintel over the opening made in the wall; B – a temporary support with a slab and foot; C – the next section of the undercut with dimensions of 1,0 × 1,0 m; (Ł. Wesołowski)

skomplikowaną. Elementem poprzecznym może być nadproże żelbetowe, stalowa belka lub belka żelbetowa wbudowana, wykonywana na miejscu budowy. Wybór konkretnego elementu wynika z szybkości postępu prac, bilansu ekonomicznego oraz szczególnego stanu technicznego w miejscu instalowania belki stropowej. Po przygotowaniu gniazd w ścianie wprowadza się w nie belki stalowe. W opisywanym przypadku wykorzystano belki dwuteowe IPE 160 na rozpiętości ścian ~4,2 m. Ze względu na transport i konieczność ich montażu we wnętrzu budynku elementy konstrukcyjne składały się z dwóch części. W innym wypadku nie byłoby możliwości wprowadzenia elementu w otwory w ścianach, oraz utrudnione byłoby ich dostarczenie na miejsce. Jeżeli jest taka możliwość, fragmenty belek mogą zostać podane przez otwór dostępowy w ścianie zewnętrznej, jednak nie zawsze taka możliwość istnieje. Z reguły budynki stanowią substancję wartościową, układ urbanistyczny w ścisłych centrach miast może wykluczyć dostawę, jak i projektowane wzmocnienie może nie być wykonywane w obszarze przy ścianie zewnętrznej. Częstym rozwiązaniem jest zatem dzielenie elementów konstrukcyjnych na mniejsze sekcje.

Belki wprowadzone zostają w otwory w ścianie i ułożone swobodnie. Następnie należy przystąpić do zespolenia. Końce belek zostają zaklinowane i unieruchomione na jednym poziomie. Elementy pozycjonuje się w linii i podpiera się ich końce. Do łączenia stosuje się blachy o grubości wynikającej z planowanych obciążeń i sił oddziaływających na elementy. Blachy lokalizuje się po obu stronach belki i skręca śrubami. Blachy skręcane były na 5 śrub w każdej części belki i łączyły ~60 cm na każdym końcu belki. Liczba otworów i wymiary obejm blaszanych wymagają doboru na podstawie obliczeń konstrukcyjnych. Jeżeli dostępne miejsce na to pozwala, dodatkowo połączenie może zostać zaspawane. Zespolona belka może zostać uwolniona i już jako pojedynczy element ponownie ułożona i zaklinowana na podporach w ścianie. Gniazdo zostaje wypełnione odpowiednią mieszanką cementową i po jej stwardnieniu i uzyskaniu stabilności kliny mogą zostać usunięte.

Po zabezpieczeniu podkopanej sekcji belkami dwustronnie można przystąpić do montażu wypełnienia. Do głównej konstrukcji nośnej zastosowano belki dwuteowe i dzięki temu możliwe było oparcie na półce kształtowników podporowych poprzecznych. Wykorzystano stosowane w górnictwie elementy stalowe łuków podatnych obudowy „ŁP". Stalowe kształtowniki V16,5 układano poprzecznie do belek nośnych, zaczynając od strony ściany. Pierwszy profil przykręcono tymczasowo do ściany w celu unieruchomienia go przy wypełnianiu przerw ponad obudową. Kształtki układane zostały szczytem łuku w kierunku góry, co pozwoliło na znaczne obniżenie masy nowego stropu. Przestrzeń pomiędzy poprzecznymi profilami a podłogą na górze dokładnie wypełniano półsuchą zaprawą cementową. Zabieg powtarzano, dokładając kolejne elementy. Wraz z postępem prac możliwe

forward task. A reinforced concrete lintel, a steel beam or in built reinforced concrete beam made on-site can be used as the transversal reinforcing element. The choice of the material depends on the rate of work progress, economic factors and the specific technical conditions at the location of the ceiling structural beam installation. The steel ceiling structural beams need to be inserted into the slots prepared. In the case presented here, IPE 160 I-section beams were used for a wall span of ~4.2 m. Due to transport limitations and the need to install the elements in the building interior, each structural beam comprised two parts as otherwise it would not have been possible to insert them into the slots in walls and there would be problems with delivery of the elements to the building site. In some cases, it may be feasible to pass the beam parts through a dedicated delivery opening made in the external wall of the building, but such an opportunity is not always available. Buildings subjected to this type of modification are often heritage structures of high value and the urban arrangement of historic city centres may preclude the delivery of structural elements in such a way. The designed reinforcement may also not be close to the external wall of the building. A frequently used solution involves dividing structural elements into smaller sections.

The beams were inserted into the slots in the walls and arranged freely. The next step involved joining the sections of each beam together. The beam ends had to be locked and immobilised at the same level. The beam elements had to be aligned and their ends had to be supported. They were then joined using sheet metal plates of a thickness adjusted to the planned loading and forces affecting the elements. The sheet metal plates were placed on both sides of the beam and fastened with screws. In the case presented, the sheet metal plates were fastened with five screws in each part of the beam and joined together sections of ~60 cm at each end of the beam. The number of openings and dimensions of metal clamps had to be determined on the basis of structural calculations. The join area can be additionally welded to fasten the bond, if there is sufficient space where the beam has been placed. The bonded beam forms a single element and can now be rearranged and readjusted in the slots and locked to supports in the walls. Next, the slot was filled with an appropriate cement mix and when the cement hardened and stabilised, the locking wedges could be removed.

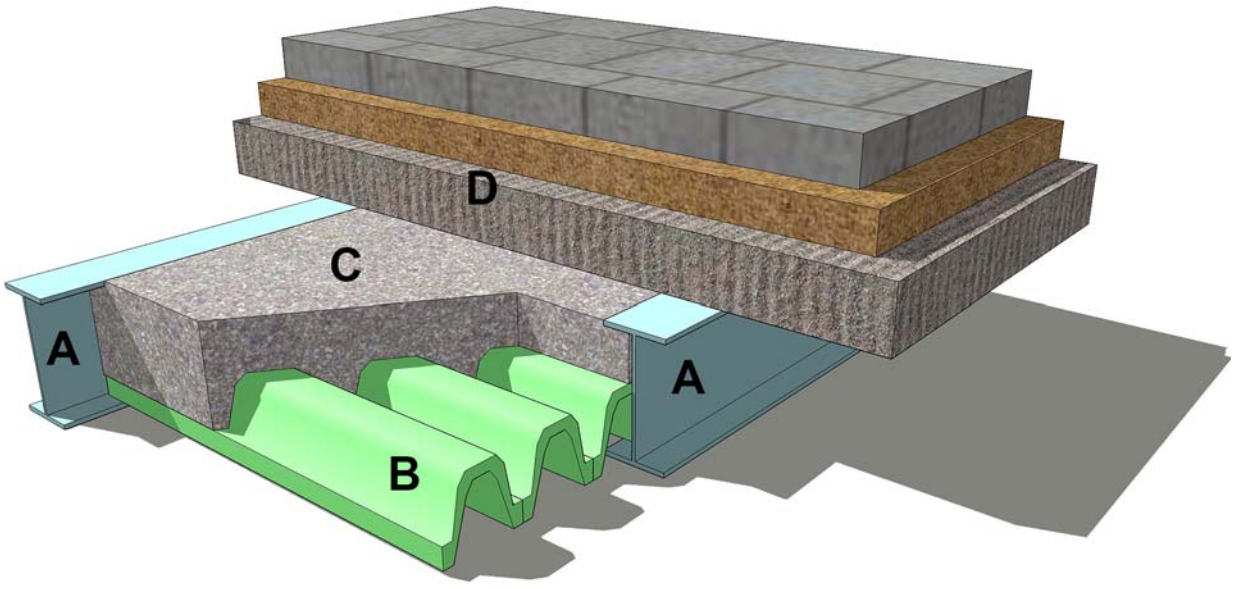
When the excavated section was secured on both sides with structural beams, the filling materials were installed. I-section beams were used in the main load-bearing structure. The beam ledges served as rests for transversal supporting profiles, consisting of steel elements of a yielding arch applied in mine 'Yielding Arch' lining. Steel V16.5 profiles were placed to the load-bearing beams, starting from the end adjacent to the wall. The first profile was temporarily screwed to the wall in order to prevent it from moving during the process of filling the space above the lining profile. The profiles were arranged with the top of the arch directed

było usuwanie kolejnych stempli podporowych. Po wypełnieniu przestrzeni pomiędzy belkami można przystąpić do poszerzenia podkopu o kolejną sekcję, umożliwiającą montaż sąsiedniej belki konstrukcyjnej. Prace prowadzone są ponownie sekcjami o szerokości ok. 1 m, lecz ze względu na zapas miejsca pod nowo zabezpieczonym stropem głębokość wybrania jest ograniczona.

Kolejne sekcje zostają ułożone przy pełnej kontroli i zabezpieczeniu podporowym posadzki powyżej. Zakończenie prac przy ścianie równoległej do belek konstrukcyjnych może nastąpić w formie zamknięcia belką ceową lub dwuteową albo w formie wycięcia w murze i oparcia elementów wypełnienia we wnęce. Drugi sposób integruje strop ze ścianą, natomiast belka boczna pozwala na pełne podparcie z minimalną ingerencją w strukturę muru. Inwazyjność wybranego rozwiązania powinna być poprzedzona analizą i wykonawczymi wytycznymi projektów, i każdorazowo być najlepiej dobrana do konkretnej sytuacji obiektu budowlanego. Po uzupełnieniu jednej ze stron można przystąpić do prac przy drugiej części stropu. Wykonany strop jest pełnowartościowym rozwiązaniem konstrukcyjnym i staje się stałym elementem konstrukcji obiektu budowlanego. Bo demontażu ostatnich stempli można przystąpić do wykonania nowej posadzki pomieszczenia i pozostałych prac wykończeniowych. Wybrane rozwiązanie wykorzystuje belki stalowe o wysokości 156,4 mm ułożone bezpośrednio pod poziomem warstw posadzki istniejącej. Profile „V" obudowy górniczej posiadają wysokość 90,5 mm. Szczelne wypełnienie wolnej przestrzeni zaprawą cementową daje 60 mm wysokości w najniższym miejscu (ryc. 2). Uśredniona waga tak wykonanego stropu zabezpiecza-

upwards, which resulted in lowering weight of the new structural ceiling. The space between the profiles and the floor structure above was tightly filled with semi-dry cement mortar. The procedure was repeated for all subsequently added elements. As work progressed, the supporting shores could be gradually removed. When the whole space between the load-bearing beams is filled with filling materials, the undercut was extended to the next section, enabling installation of the next structural beam. The work had to be carried out sequentially in sections, which were approximately 1 m wide, but the depth of excavation was limited by the spare space available under the newly-built structural ceiling.

Subsequent sections had be arranged in a way that secured full control and support of the floor structure above. The last structural element joining the wall could take the form of a U-section beam or I-section beam, or as a recess cut in the wall to provide support for the profiles. The latter solution integrates the new structural ceiling with the wall, whereas the first one using a steel beam, offers full support of the elements with interventions into the wall structure kept to a minimum. The degree of invasiveness of the solution selected should be preceded by a thorough analysis of the circumstances and design guidelines in order to adapt to the individual character, situation and needs of the building in question. After completing one side of the structural ceiling, the work can be continued on another part. The structural ceiling built using this method is a full value structural solution and becomes a permanent element of the building. After disassembling the shoring, flooring can be installed in the basement and other finishing work can be completed. In the case presented, steel 156.4 mm high steel beams were used. They were arranged directly below the existing floor



Ryc. 2. Schemat konstrukcji stropu zabezpieczającego: A – nadproże stalowe, dwuteownik; B – poprzeczna konstrukcja wspierająca – stalowy kształtownik V – część obudowy górniczej; C – wypełnienie półsuchą zaprawą cementową wolnej przestrzeni pomiędzy stropem zabezpieczającym a istniejącą posadzką (D); opracowanie własne

Fig. 2. Diagram showing the structural ceiling supporting the existing floor structure above: A – I-section steel beam; B – transversal supporting structure – steel V profiles used in mine lining; C – semi-dry cement mortar filling the space between the newly built supporting structural ceiling and the existing floor structure above (D); (Ł. Wesołowski)

jącego to ~375 kg/m^2. Dla porównania monolityczna płyta żelbetowa o grubości 15 cm waży ~350 kg/m^2. Ze względu na konieczność wykonania konstrukcyjnej warstwy nadbetonu w stropach gęstożebrowych ceramicznych nie ma możliwości ich stosowania w tego typu interwencjach. Pozytywną ich cechą jest znacząco niższa waga (od 242 kg/m^2 w stropie EF45/20), lecz mają one większą wysokość zabudowy.

Powstaje w ten sposób strop gęstożebrowy o nietypowej technologii montażu. Szczelne i dokładne wypełnienie przestrzeni pomiędzy traconym szalunkiem z elementów obudowy „ŁP" a warstwami wymagającej zachowania posadzki z wyższego piętra eliminuje możliwość zapadnięcia się, popękania czy rozspojenia chronionej posadzki. Materiał o dużej gęstości traci plastyczność bardzo szybko i zespaja poszczególne warstwy tworząc jednorodny element konstrukcyjny. Nie bez znaczenia jest ręczny charakter pracy. Ze względu na niewielką przestrzeń do pracy, prowadzenie jej we wnętrzu budynku i konieczność gęstego zabezpieczania podkopu wyeliminowane zostają wielkogabarytowe urządzenia o dużej mocy. Stosuje się tu elektronarzędzia ręczne o niewielkiej sile, emitujące ograniczony hałas i wibracje. Dzięki temu również wolne tempo prac sprzyja eliminacji szybkiej zmiany stabilności elementów budynku.

Ponieważ nowy strop jest wykonany głównie z elementów stalowych, koniecznym może być jego odpowiednie zabezpieczenie pożarowe. Wynika ono z ogólnie przyjętej klasyfikacji pożarowej obiektu lub w sposób bardziej wymagający – ze względu na nietypową funkcję nowego pomieszczenia. Do właściwej ochrony elementów konstrukcyjnych przed pożarem można użyć szerokiego wachlarza dostępnych rozwiązań i produktów – od farb pęczniejących po obudowy zabezpieczające.

Kolejną przeszkodą jest bardzo surowa – wręcz brutalistyczna – estetyka elementów wsporczych. Ze względu na ich przemysłowy charakter i gorącowalcowany sposób wykonania profili z reguły stosuje się sufit podwieszany. Pozwala on dodatkowo, przy niewielkiej modyfikacji, ustanowić ochronną warstwę przeciwpożarową. Pomiędzy płytami poszycia GK a nową obudową można również zamontować dodatkowe warstwy izolacji termicznej lub akustycznej, elementy końcowe i kanały systemów wentylacji, nagłośnienia czy oświetlenia.

APLIKACJE I UZUPEŁNIENIA

Zasada budowy stropów tego typu umożliwia wprowadzanie modyfikacji zarówno materiałowych jak i uzupełnienie o inne techniki budowlane wykorzystywane w budownictwie. We wspomnianej realizacji poziom posadowienia ław fundamentowych był jednakowy w całym budynku. Część rzutu nie została z pewnego powodu wykorzystana jako piwnice, tylko zasypana na etapie wznoszenia budynku. Jeżeli jednak zabezpieczona i podparta pierwsza sekcja wykopu do-

structure. The mine lining V profiles are 90.5 mm high. A tight filling of the space between the elements with cement mortar is 60 mm high at the lowest point (fig. 2). The mean weight of the structural ceiling built using this technology is ~375 kg/m^2. In comparison, a monolithic reinforced concrete slab 15 cm thick weighs ~350 kg/m^2. A suspended ceramic beam and block structural ceiling cannot be applied in such interventions as it requires a structural layer of concrete overlay. The advantage of this ceiling is its considerably lower weight (from 242 kg/m^2 for the EF45/20 structural ceiling) but the overall height of such a structure is larger.

The application of the method described results in a suspended beam and block structural ceiling achieved with a non-standard installation technology. A tight and precise filling of the space between the lost form work of the mine yielding arch lining elements and the existing floor layers directly above which have to be preserved, eliminates any potential for collapse, cracking or delamination of the protected flooring above. The high density material loses its plasticity very fast and bonds individual layers turning them into a homogeneous structural element. Application of this method requires manual work. Limited working space available inside the building and the need to use densely arranged shoring to secure the undercut under the existing floor structure makes it impossible to make use of large scale and high power equipment. Only hand-held electric tools of low capacity and emitting limited noise and vibration can be used. The slower pace of construction work helps prevent sudden changes to the stability of the building.

As the new structural ceiling comprises mainly steel elements, it may be necessary to provide it with appropriate fire protection. This needs to be in compliance with the generally accepted fire hazard category of the building or with more demanding requirements as is the case in situations where there is a non-standard function of the newly-built space. A wide range of available materials and technical solutions can be used to provide appropriate fire protection for the structural elements – from expanding paints to protective casing.

The method is characterised by a 'raw' – almost brutalist – aesthetics of the supporting elements. The industrial hot-rolled profiles used in this method can be covered with suspended ceilings during finishing work. With minor modifications, the suspended ceiling can also serve as a fire protection layer. Additional thermal or acoustic insulation materials, ducts and end elements of the ventilation system, elements of lighting or sound systems can be installed in the space between plastercard board panels and the newly built structural ceiling.

IMPLEMENTATION AND POSSIBLE MODIFICATION

The methodology of constructing this type of structural ceiling permits modifications when it comes to materials used, as well as supplementing this technology with other building techniques. In the case presented

chodzi do płytkich ścian fundamentowych, możliwe jest zastosowanie punktowego podbicia fundamentów na odsłoniętym odcinku. Przeprowadzenie dodatkowego etapu prac, jakim jest wykonanie pogłębienia fundamentowania budynku, umożliwia stworzenie dodatkowych kubatur użytkowych pod istniejącym budynkiem poniżej pierwotnego poziomu posadowienia. Wykonując pełny poziom podpiwniczenia można następnie wykonać ściany szczelinowe po całym obwodzie ścian konstrukcyjnych budynku i utworzyć kolejne piętro podziemne. Technologia budowlana tego typu określana jest mianem technologii *top-down*[1]. Bardzo często stosuje się ją przy budowie np. garaży podziemnych. Szczególnym przykładem stosowania podobnego rozwiązania jest budowa tuneli pod istniejącymi nasypami kolejowymi, drogami czy budynkami. W inżynierii jest znana pod nazwą *pipe roofing* i zalicza się do technologii bezwykopowych[2].

Podstawowy charakter elementów składowych tego typu rozwiązań umożliwia zmianę materiału i układu konstrukcji. Jako główne belki nośne bardzo dobrze spisywałyby się elementy z drewna klejonego (ryc. 3A). Technologia ta przystosowana jest do prefabrykacji ze względu na uwarunkowania produkcyjne i transportowe. Wiązary o znaczących rozpiętościach rzędu kilkudziesięciu metrów są dzielone na mniejsze części, a następnie zespajane w jeden układ za pomocą stalowych płyt montowanych w pionowych wpustach, po czym skręcane za pomocą śrub. Podobnie wygląda mocowanie do słupów lub ścian. We wspomnianym przypadku wbudowywania tego typu elementów podział nie wynikałby z rozpiętości elementów, ale właśnie z potrzeby podzielenia belek na krótsze części możliwe do dostarczenia do wnętrza budynku. Osadzenie konstrukcji w ścianie nie wymagałoby wykuwania wnęk, tylko osadzenia stalowej marki i odpowiedniego jej zakotwienia w murze. Asortyment dostępnych kotew konstrukcyjnych jest bardzo bogaty i umożliwia dobór odpowiedni do stanu technicznego podłoża i przewidywanych obciążeń nośnych. Prefabrykowana technologia jest dodatkowo technologią suchą, a to w niektórych przypadkach jest pożądanym aspektem ze względu na możliwość uszkodzenia lub zniszczenia posadzki.

Wypełnienie stropu również umożliwia zróżnicowane podejście. Konstrukcja z drewna klejonego znakomicie współpracuje z innymi materiałami i technologiami budowlanymi. Poprzeczne elementy konstrukcyjne mogą być wykonane również w drewnie klejonym. Belki rozpięte pomiędzy główną konstrukcją mogą stanowić podporę dla podłoża wykonanego z blachy trapezowej. W takim układzie profilowanie arkuszy blachy byłoby równoległe do belek nośnych i umożliwiało wypełnienie wolnych przestrzeni półsuchą mieszanką cementową i odpowiednie jej zagęszczenie. Blacha spoczywałaby na płatwiach poprzecznych. Podobnie jak w przywoływanej realizacji również w tym przypadku możliwe byłoby wykonywanie wzmocnienia stopniowo na ograniczonej powierzchni stropu.

here, the level of the foundation of the footing of the whole building was the same. For some reason, part of the building's underground space had not been used as a basement, but had been filled during construction. However, if the first section of the undercut secured is adjacent to shallow foundation walls,it is possible to add spot footing to the uncovered section. The additional work to increase the depth of the building foundations can create new additional usable space under the existing floor below the original level of foundations. Extending the basement under the building it is possible to build diaphragm walls along the whole perimeter of the building in order to create another underground storey. This type of construction technology is called top-down technology[1]. It is often used in constructing underground parking lots. A special application of this technology is used in constructing tunnels under existing railway embankments, roads or buildings. This method is known as 'pipe roofing' and is referred to as one of the trenchless technologies[2].

The basic character of components making up such a type of technological solution enables changes to the materials used and to the structural arrangement. Elements made of glued timber can be used for load-bearing beams (fig. 3A). This technology makes use of prefabricated elements due to production and transportation conditions. Large span trusses, extending over several tens of metres are divided into smaller parts and then joined into one system using steel plates installed in vertical grooves and tightened with screws. A similar method is applied to fix the elements to posts or walls. Using such elements in the case presented in this paper, would have required dividing them into smaller sections in order to deliver them into the interior of an existing building and not because o the span required of the elements. Mounting the structure onto the walls would not have required making slots for the beams in the walls, but an anchoring of the special steel plates in an appropriate way. A wide range of structural anchors is available and it is possible to find anchors appropriate for the technical condition of a given wall and matched to expected loading. Prefabricated element technology is a dry method, which in some cases may be a preferred solution as this serves to avoid damage or destruction of the floor to be protected.

The filling materials used in structural ceilings can also vary. The structure of glued timber works well in coordination with other materials and building technologies. Transversal structural elements can also be made of glued timber. Beams extending between main structural elements can provide support for trapezoidal metal sheet casing. The moulding of the metal sheet can run parallel to the main load-bearing beams to enable filling of the space with semi-dry cement mortar and appropriate compacting of the mortar. Trapezoidal metal sheets would be placed on top of the transversal purlins. The construction of this type of structural ceiling must be carried out sequentially in limited sections, as was the case in the tenement house in Kraków presented in this paper.

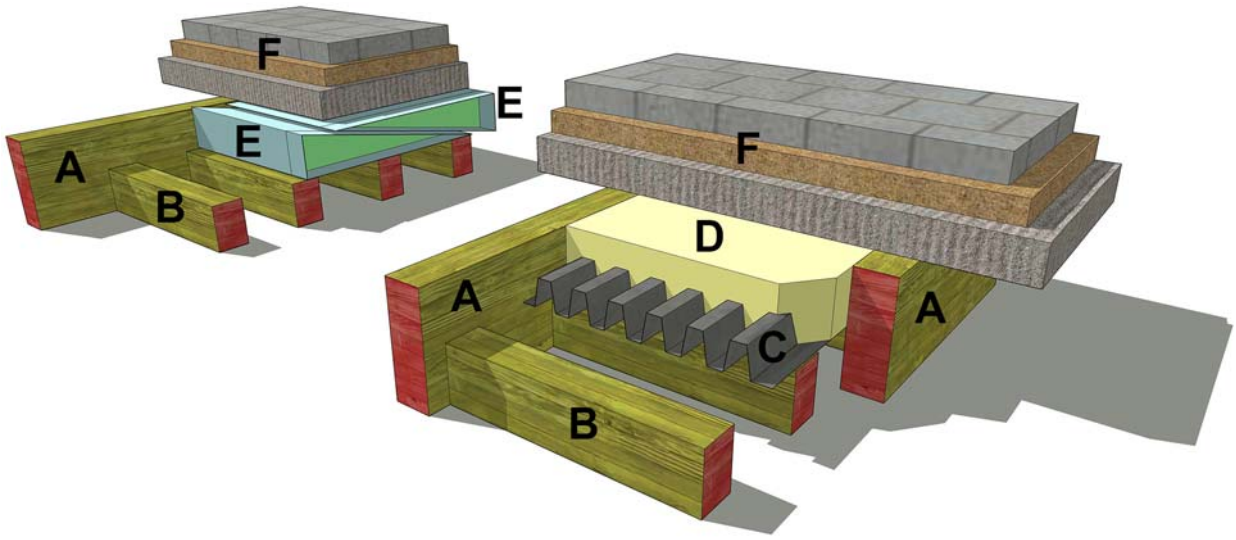
Another option for filling in the space between the main load-bearing structure and the existing floor struc-

Ciekawym wariantem wypełnienia pomiędzy główną konstrukcją nośną a posadzką mogą być metalowe kasety o przekroju klinowym (ryc. 3E). Elementy wykonane z blachy stalowej z poprzecznie umieszonym profilowaniem w kształcie trójkąta mogłyby ściśle przylegać do istniejących warstw posadzkowych. Następnie pomiędzy poprzeczne belki konstrukcyjne a kasetę wspierającą strop należałoby wsunąć identyczną kasetę z odwrotnie umieszczonym klinem. Poprzez wbicie elementu dolnego następowałoby unoszenie elementu górnego, aż do właściwego podparcia warstw posadzkowych i ustabilizowania układu. Pozycja elementu rozporowego byłaby następnie blokowana przez skręcenie obu elementów.

Interesującą alternatywą dla ciężkiego wypełnienia cementowego stropu jest wykorzystanie środków chemicznych. Stosowane w powierzchniowych aplikacjach i interwencjach naprawczych pianki niskoprężne (ryc. 3D) umożliwiają wypełnienie i podniesienie zapadniętych fragmentów poziomych warstw stropowych, chodnikowych i drogowych. Wieloskładnikowe mieszanki mogą być używane do iniekcji i penetracji wolnych przestrzeni, pęcznieć w nich, a następnie się utwardzać. Również w tym wypadku w ograniczoną i kontrolowaną przestrzeń pomiędzy nowym stropem i istniejącymi warstwami podłogowymi mogłaby być wprowadzana mieszanka po uprzednim miejscowym dociążenia górnej posadzki – koniecznie w szerszym polu niż aktualnie zabezpieczana sekcja, aby korzystać ze stabilności niepodkopanych jeszcze części podłogi lub już zabezpieczonych. W takim wypadku wierzchnia część posadzki pozostanie równa i zabezpieczona na właściwym poziomie.

ture above involves the application of wedge-shaped metal cases (fig. 3E). Such elements are made of steel metal sheet with a triangular cross-section and tightly adhere to the existing floor structure above. The next step involves placing another identical case with the wedge in the opposite direction between the transversal purlins and the case supporting the existing floor above. Driving in the second case results in lifting the upper case until the whole system reaches stability and the floor structure above is appropriately supported. The position of the expanding element is then locked by joining the two elements with screws.

The application of chemical substances can be an alternative to heavy cement filling of the structural ceiling. Low-pressure foams (fig. 3D) can be used in interventions to repair surfaces by filling and lifting sunken fragments of structural ceilings, pavements or roads. Multi-component mixtures can be used to inject and penetrate into empty spaces, where they expand to fill the spaces and then harden. In the case of the technology described here, a foam mixture can be injected into the limited and controlled space between the newly-built structural ceiling and the existing floor above. Before the application of the foam, it is necessary to place additional weight on the floor above in an area wider than the section below undergoing excavation and support so as to exploit the stability of the fragments of the floor structure which have not yet been undercut or have already been appropriately secured by the newly constructed structural ceiling below. This arrangement guarantees that the surface of the floor above remains even and secured appropriately at the desired level.



Ryc. 3. Schemat rozwiązań alternatywnych konstrukcji stropu zabezpieczającego: A – belki nośne z drewna klejonego; B – belki poprzeczne z drewna klejonego; C – blacha trapezowa – szalunek tracony; D – wypełnienie pianą niskoprężną; E – metalowe kasety klinujące; F – istniejące warstwy posadzkowe; opracowanie własne

Fig. 3. Diagram demonstrating alternative solutions for the structural ceiling supporting the existing floor structure above: A – load-bearing beams made of glued timber; B – transversal beams made of glued timber; C – trapezoidal metal sheet – lost formwork; D – low-pressure foam filling; E – metal wedge-shaped cases; F – the existing floor structure above (Ł. Wesołowski)

PODSUMOWANIE

Prace projektowe i budowlane na istniejących obiektach architektonicznych wymagają szczególnej uwagi i wiedzy. Jeżeli w grę wchodzą budynki o znaczącej wartości kulturowej i historycznej, zmianie może ulec hierarchia priorytetów w procesie decyzyjnym. Bardzo często pomocne w osiągnięciu zamierzonych celów mogą okazać się rozwiązania z powodzeniem stosowane w innych dziedzinach inżynierii, a niekoniecznie wykorzystywane w budownictwie. Przykładem tego typu realizacji może być wybudowanie metodami górniczymi stropu zabezpieczającego posadzkę na gruncie w użytkowanej kamienicy mieszkalnej. Nietypowe wymagania inwestycyjne wymusiły szersze spojrzenie na problem technologiczny, a pomocne okazało się doświadczenie przedsiębiorstwa robót górniczych, które z powodzeniem wykonuje tego typu zabezpieczenia w budownictwie podziemnym. Analiza przypadku umożliwia wprowadzenie w zaproponowanej technologii zmian i poszerzenie możliwego pola zastosowań w branży architektonicznej. Przywołane rozwiązania techniczne mogą być pomocne również w realizacjach polegających na zabezpieczaniu i odciążaniu stropów w złym stanie technicznym w budynkach istniejących. Nietypowy charakter prac prowadzonych bezpośrednio pod obiektami budowlanymi ma również zastosowanie w rozwijaniu miejskiej infrastruktury podziemnej – przy tworzeniu punktów dostępowych do podziemnych tras turystycznych, przy stacjach metra i pra-metra oraz przy konieczności utworzenia komór technicznych, jak np. przepompowni, stacji trafo czy choćby toalet miejskich. Takie podejście umożliwia nieograniczone w czasie budowy wykorzystywanie funkcji podstawowych obiektu przy jednoczesnym postępie prac. Prototypowy charakter tego typu interwencji niesie jednak za sobą dodatkowe obciążenia i wymaga profesjonalizacji ekip remontowo-budowlanych, koordynacji branżowej na etapie projektu i wykonawstwa oraz elastycznego finansowania.

CONCLUSIONS

Design and construction work on existing buildings requires special attention and knowledge. In the case of heritage structures, the hierarchy of priorities in the decision making process may be modified to encompass the special needs and conditions of the building in question. Technical solutions used in fields of engineering other than building and construction can often be successfully applied to achieve planned goals. A good example of such action is using mining technologies in the construction of a supporting structural ceiling under an existing floor structure on ground in a tenement house in Kraków. Non-standard investment requirements demanded a wider perspective in searching for possible solutions to the technological problem to be overcome. The experience of a mining company in building underground support structures was used in this case. The case study analysis enabled modifications to the proposed technology and demonstrated the wider potential of application in architecture. The technological solutions described can also be helpful in projects, which require securing and unloading of structural ceilings in bad technical condition in existing buildings. The non-standard character of building work carried out directly under existing building structures can be used also in developing urban underground infrastructure – construction of access points to underground tourist trails, underground railway stations and subways, as well as different types of technical infrastructure, e.g. intermediate pumping stations, transformer stations or public toilets. The application of this method does not limit the use of the structure as underground construction progresses without interference. The prototypical character of these type of interventions, however, are associated with additional resourcing and require a professionalization of renovation and construction teams, business sector coordination at the design and implementation stages, as well as flexible financing.

BIBLIOGRAFIA

[1] Beckmann P., Bowles R. Structural aspects of building conservation. Elsevier, Oxford, 2005.

[2] Bęben D. Metody bezwykopowe – alternatywa dla tradycyjnych wykopów otwartych. Inżynieria Bezwykopowa 2009;27(3):80-87.

[3] Dmochowski G., Berkowski P. Strengtening of concrete ground floors in industrial halls – a case study. Concrete Solutions 2014: 261-266.

[4] Haslam S., O'Connor L. Guidelines on safe and efficient basement construction directly below or near to existing structures. ASUCplus, Kingsley 2013.

[5] Rotkegel M. Typowe rozwiązania konstrukcyjne portalowej obudowy połączeń wyrobisk korytarzowych. Przegląd Górniczy 2013;69(6):7-16.

[6] Won-Kee H., Jin-Min K., Ho-Chan L., Seon-Chee P., Seung-Geun L., Seung-Il K. Modularized top-down construction techniques using suspended pour forms (modularized RC system downward, MRSD). The Structural Design of Tall and Spacial Buildings 2010;18(7):802-822.

[1] Haslam S., O'Connor L., *Guidelines on safe and efficient basement construction directly below or near to existing structures,* ASUCplus, Kingsley 2013.
[2] Bęben D., *Metody bezwykopowe – alternatywa dla tradycyjnych wykopów otwartych*, Inżynieria Bezwykopowa 3/2009 (27).

Streszczenie

Artykuł przedstawia przypadek wykonania stropu konstrukcyjnego pod posadzką na gruncie w kamienicy mieszkalnej w Krakowie przy użyciu metod górniczych. Pod częściowo podpiwniczonym budynkiem wykonywano rozszerzenie pomieszczeń piwnicznych pod pełny obrys budynku. W tym celu wykonano podkop i zabezpieczenie odcinkowe pod istniejącą posadzką, a następnie zabudowano belki stalowe oraz wypełnienie za pomocą elementów obudowy chodników podziemnych. Po analizie przypadku zaproponowano możliwe do wprowadzenia rozwinięcia i modyfikacje technologii oraz wskazano nowe pola zastosowania.

Abstract

The paper describes the process of constructing a structural ceiling under a floor built on ground in a residential tenement house in Kraków. The construction of this structure was carried out using mining technology. The basement of the building extended under only a part of the ground floor and was extended to cover the whole footprint of the building. To achieve this goal, ground from under the existing floor structure was excavated and the floor was secured. Next, the steel beams and filling materials were built in using elements of mine drift lining for support. As a result of an analysis of the case study, possible modifications and development of the technology were proposed and new areas of application were identified.