

## **Cliff Fudge BSc CEng DSc(hon) FStructE MICE FIMS**

Technical Director of H+H UK Limited

# **Projektowanie i stosowanie ABK w Wielkiej Brytanii**

## **AAC design and construction in the UK**

### **Rozwój ABK w Wielkiej Brytanii**

Autoklawizowany beton komórkowy [ABK] jest powszechnie stosowany w Wielkiej Brytanii, głównie w budownictwie mieszkaniowym, ale również w innych rodzajach budowli. Zainteresowanie ABK w Wielkiej Brytanii rozpoczęło się od patentu złożonego przez Johna Lainga i Syna w 1948 roku. W tamtym czasie technologie ABK były rozwijane w innych częściach Europy, natomiast twórcy patentu zauważyli, iż popiół lotny występujący w formie drobnego proszku nie wymaga mielenia, w odróżnieniu od piasku stosowanego jako główny surowiec w innych technologiach. W 1948 roku zarejestrowano nazwę handlową Thermalite, a w 1951 zbudowano fabrykę 50 kilometrów na zachód od Londynu. Była to pierwsza fabryka ABK w Wielkiej Brytanii, stosowano w niej popiół lotny jako główny surowiec. Podczas lokowania fabryki wzięto pod uwagę bliskość źródła popiołu lotnego, który powstaje jako produkt uboczny w procesie spalania węgla w elektrowni. Firma stworzyła wiele fabryk ABK w ciągu kilku następujących dekad, jednak do dzisiaj na terenie Wielkiej Brytanii czynne pozostają jedynie dwie.

Nieco później, bo w 1958 roku fabrykę na terenie Wielkiej Brytanii, w Essex [30 km na wschód od Londynu] otworzyła firma H+H UK, w celu produkcji bloczków ABK oraz lekkich izolacyjnych podkładów podłogowych. Rynek ABK zmienia się w zależności od ilości budowanych domów, nie mniej jednak szacuje się, iż ABK stanowi ponad 50% materiału wykorzystywanego przy budowie domów niskokondygnacyjnych.

### **Development of AAC in the UK**

Autoclaved Aerated Concrete (AAC) masonry is widely used in the UK and is a commonly utilised material, predominantly for housing, but also for other building structures. Originally, interest in AAC within the UK started with a patent filed by John Laing and Son in 1948. Whilst AAC was being developed in other parts of Europe, the patent noted that pulverised fuel ash (PFA) as a fine powder did not need grinding unlike quartz sand which was commonly being used as key raw material elsewhere. The trade name Thermalite was registered in 1948 and a factory was built 50 km to the west of London in 1951. This was the first AAC manufacturing plant in the UK and used PFA as its primary raw material. The location was selected to take advantage the PFA which is a by product of coal fired boiler units. Thermalite went on to construct a significant number of AAC factories over the decades, but today this is confined to two in the UK.

Slightly later in 1958, the current day manufacturer of H+H UK built a factory in Essex (30 km east of London) for the production of precast AAC blocks and screeds. The market for AAC changes with the number of houses being constructed in any one year, but it is estimated that AAC has more than 50% market share of low rise houses as the main material for the structure of the construction.

## Budowa zewnętrznych ścian szczelinowych

Technologia budowania zewnętrznych ścian w Wielkiej Brytanii wynika z kilku czynników zewnętrznych i środowiskowych. Największy wpływ na projektowanie ścian ma klimat. W latach czterdziestych i pięćdziesiątych murarstwo zaczęło odchodzić od ścian z pełnych cegieł o grubości 215 mm i zastępować tę technikę dwoma warstwami cegieł, 102 mm cegły zewnętrznej oraz 100 mm warstwy bloków betonowych wewnątrz, z 50 mm szczeliny pomiędzy. Głównym powodem były problemy związane z deszczem podcinanym przez wiatr, z przeważającymi wiatrami zachodnimi. Klimat Wielkiej Brytanii jest zmienny, jednak w większych obszarach dominują wiatry zachodnie przynoszące opady. Potrzeba ochrony zewnętrznej warstwy przed penetracją wody stała się kluczowa, a technologia ścian szczelinowych stanowiła rozwiązanie tego problemu. Początkowo szczeliny były pozostawiane puste, następnie zaczęto stosować kotwy w celu zapewnienia odpowiedniej odporności na naprężenia wywołane wiatrem. Budynki niskokondygnacyjne są projektowane z uwzględnieniem porywów wiatru do 150 km/h dających naprężenia 1,2 kN/m<sup>2</sup>, stąd potrzeba stosowania kotew zapewniających przenoszenie naprężeń pomiędzy dwoma warstwami ściany. Zewnętrzna warstwa ceglana lub kamienna pozostaje najbardziej popularnym wykończeniem ściany zewnętrznej po dziś dzień. Istnieją obszary kraju gdzie ściany zewnętrzne wykańcza się tynkiem murarskim bądź stolarką, jednak takie rozwiązania nie stanowią normy. Wybór zewnętrznego materiału jest podyktowany zazwyczaj lokalnymi wymogami i planowaniem, jak w przypadku większości budynków. Cegła przeważa z historycznego punktu widzenia i budynek niej wykonany jest widziany przez klienta jako „angielski zamek”, a fraza „cegły i zaprawa” jest powszechnie używana jako synonim siły, długowieczności i wartości tego, co dla większości ludzi jest największą inwestycją w ich życiu.

Potrzeba zgodności wymiarów prefabrykatów, tak jak w innych częściach Europy, z wymiarami cegieł zewnętrznych [pierwotnie jednostki imperialne, w tym momencie zadeklarowane jako 215 mm długości, 65 mm wysokości, 10 mm łączenia] doprowadziła do najpopularniejszego obecnie wymiaru prefabrykatu o długości 440 mm [2 cegły i jedno łączenie] i wysokości 215 mm [3 cegły z zaprawą]. W ten sposób, kotwy ściennie mogą być ułożone odpowiednio do połączenia dwóch rzędów ściany i przenoszenia zewnętrznego obciążenia, jak również pozwalają na zwiększenie współczynnika smukłości przy obciążeniu ściskającym pionowym, zgodnie zarówno z normami brytyjskimi (1) jak i europejskimi (2). Podczas wchodzenia na rynek ABK było sprzedawane jako lekki substytut bloków z betonu [o gęstości pomiędzy 1500 a 2000 kg/m<sup>3</sup>], podczas gdy gęstość ABK mieściła się w przedziale od 600 do 700 kg/m<sup>3</sup>. Gęstość ta jest optymalna dla większości technologii budowlanych wykorzystujących ABK na świecie. Przy najbardziej popularnej grubości 100 mm, jeden blok ABK ważył od 7 do 8 kg, co odpowiadało od jednej trzeciej do połowy wagi innych bloków murarskich. W wyniku tego materiał zyskał popularność wśród murarzy, ze względu na mniejszy wysyłek fizyczny, oraz większą efektywność murowania. W następstwie częstego stosowania

## External Cavity Wall Construction

The type of external walling of UK house construction is driven by several external and environmental issues. The climate has the most fundamental impact on wall design. In the 1940 and 50's masonry started to shift away from solid 215 mm brick walls to cavities of two leaves of masonry [predominately 102 mm brick on the outside] with 50 mm cavity and 100 mm inner leaf of concrete blockwork. The primary reason for this was the issues associated with wind driven rain penetration, particularly with the Westerly winds that prevail. The UK climate is variable, but with the prevailing winds from the west this brings wet weather that can be highly significant on large parts of the UK. The need to prevent wind driven rain penetrating the external shell became paramount and so the cavity wall offered a solution to the problem. The cavities were kept clear in the early days and they were tied with cavity wall ties to provide the necessary resistance to lateral wind load. Low rise buildings are typically designed for wind gusts of 150 km/hr or transferred as a lateral load of 1.2 kN/m<sup>2</sup>. Hence the need for cavity wall ties that provide load sharing between the two leaves of the cavity wall. Even today, brick or natural local stone remains the most popular external wall finish. There are areas of the country where rendered blockwork is used or even tile or timber cladding, but this is not the norm. As with most building structures, the choice of external finish is usually determined as a requirement of local planning regulations and guidance. Historically, clay brickwork prevails and this is seen by customers as being an 'Englishman's castle', with 'bricks and mortar' being the common phrase to use as sign of strength, longevity and value for what is the largest investment that most people make in their life.

In common with other parts of Europe, the need to match external standard brick sizes [originally based on imperial units by now declared as 215 mm long and 65 mm high with 10 mm joints] led to the most popular block size still used today being 440 mm long [2 bricks and 10 mm mortar joint] and having a course height of 215 mm [3 bricks high with mortar]. In this way, wall ties can be accommodated to connect the two leaves together to act to resist lateral load, but also to enhance the slenderness ratio for vertical compressive loading in accordance with both withdrawn British Standards (1) and Eurocodes (2). On its introduction, AAC was sold as a lightweight substitute for aggregate concrete blocks (which have a density 1500 to 2000 kg/m<sup>3</sup>) and the AAC material was typically in the density range of 600 to 700 kg/m<sup>3</sup>. In line with most AAC production across the World, this is typical as being an optimum density in any start-up operation. With 100 mm being the most common thickness of block, a single AAC masonry unit typically weighed 7 to 8 kg, being around a third to a half of the weight of other forms of masonry unit. Consequently, the material gained in popularity with bricklayers, since there is less strain on the body and greater efficiency of build can be obtained. Following-on trades of the product, such as electricians and plumbers also started to find the benefits of ease of cutting and chasing for services and pipework. The ease with which the material could be worked provided further efficiencies in the overall construction pro-

ABK również inni specjaliści, tacy jak elektrycy i hydraulicy, zaczęli doceniać tę technologię, ze względu na ułatwione cięcie i zwiększoną dostępność do instalacji. Łatwość obróbki materiału zwiększała również całkowitą efektywność procesu budowlanego. Przez ostatnich 50 lat najbardziej popularny rodzaj bloku na rynku brytyjskim charakteryzuje się gęstością zbliżoną do  $600 \text{ kg/m}^3$ , a jedyną różnicą jest zmiana grubości z 4 cali na 100 milimetrów, wynikająca z przejścia branży budowlanej z jednostek imperialnych na metryczne.

## Efektywność energetyczna

W połowie lat siedemdziesiątych XX w. rynek ABK uległ rozszerzeniu na skutek globalnej tendencji do poprawy efektywności energetycznej budynków, wywołanej kryzysem paliwowym i wzrostem cen ropy na rynkach światowych. Wprowadzono zmiany w prawie budowlanym mające na celu ograniczenie utraty ciepła przez budynki. Została wprowadzona wartość współczynnika U [przewodności cieplnej] dla ścian zewnętrznych, z maksimum ustalonym na  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Na spełnienie tych wymagań pozwalało zastosowanie lekkiego betonu komórkowego o małej przewodności cieplnej zastosowanego w wewnętrznej warstwie ściany szczelinowej. Osiągnano to poprzez zastosowanie bloków ABK o grubości 100 mm w warstwie wewnętrznej oraz popularnej cegły w warstwie zewnętrznej. Nie wymagało to stosowania innych materiałów termoizolacyjnych, co przyczyniło się do wzrostu zastosowania ABK.

W latach osiemdziesiątych wprowadzono więcej zmian dotyczących energooszczędności budynków. Maksymalną wartość współczynnika U zmniejszono do  $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ . W tamtym czasie nie wymagano uwzględniania 10 milimetrów spoiny w obliczeniach współczynnika U, co pozwoliło przemysłowi ABK na wprowadzenie nowego rodzaju produktu. Wartość U wymagana normą mogła być spełniona dla gęstości materiału od  $450 \text{ kg/m}^3$  do  $470 \text{ kg/m}^3$ , przy zewnętrznej warstwie cegły oraz wewnętrznej z ABK o grubości od 115 do 130 mm, zależnie od wykończenia wewnętrznego. Produkt charakteryzował się przewodnością cieplną na poziomie  $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$  przy wilgotności 3%. W tamtych czasach wykańczanie wnętrz płytami gipsowymi stało się bardziej popularne od gładzi, w wyniku czego blok ABK o grubości 115 mm stał się normą w przemyśle budowlanym. Zastosowanie technologii pustej szczeliny było korzystne dla konstruktorów, którzy wykorzystali dobrą odporność na penetrację wody deszczowej, jaką dawało to rozwiązanie. Dla murarzy było to przetestowane i sprawdzone rozwiązanie pozwalające na łatwość wykończenia. Przy zastosowaniu jakiegokolwiek innego niż ABK wyrobu murarskiego, szczelina ścienna musiała być wypełniona, co nie było popularne ze względu na gwarancję oraz ubezpieczycieli. Opracowana metoda pozwalała na pustą przestrzeń szczeliny, co stanowiło o popularności tego rozwiązania. Sytuacja ta wpłynęła na rozwój branży ABK trwający latami. Wytrzymałość bloku wynosiła prawie  $3 \text{ N/mm}^2$ , co spełniało wymagania tzw. 'prostych zasad' stosowanych w narodowym prawie budowlanym dla projektów konstrukcyjnych budynków dwupiętrowych [opisane poniżej w rozdziale o projektowaniu konstrukcyjnym].

cess. Over the past 50 years or so, the most popular block on the UK market remains at around the density of some  $600 \text{ kg/m}^3$  with the only difference being a thickness change of block units from 4 inches to 100 millimetres as the construction industry changed from Imperial to metric.

## Energy Performance

The market for AAC was enhanced in the mid 1970's by the Global requirement to conserve energy in buildings, driven by the oil crisis and huge hike in oil prices. Changes to energy building regulations were introduced to reduce the loss of heat from the fabric of buildings. The 'U value' [thermal transmittance] required for external walls was introduced and regulated as a maximum of  $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Lightweight concrete blockwork could achieve the thermal regulations introduced at the time simply with a block of relatively low thermal conductivity on the inner skin of a cavity external wall. This was easily achieved with a 100mm AAC block inner leaf and clear cavity and with the much-loved outer skin of brickwork. Other forms of thermal insulation materials were not required to be applied to the construction and AAC had a significant increase in its use.

The early 1980's saw even more changes to energy regulations; the new wall U value was set at a maximum of  $0.60 \text{ W/m}^2\text{K}$ . At that time it was not necessary to consider the 10mm mortar joints in U value calculations and the AAC industry developed a new breed of AAC block. With a density of around of  $450$  to  $470 \text{ kg/m}^3$ , the U value could be met with a brick outer leaf and an inner AAC block of between 115 to 130 mm, depending upon internal finish. The products had a design thermal conductivity value at 3% moisture content of  $0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$ . It was around this time that gypsum plasterboard on dabs became a more acceptable internal finish than plaster and as a result, the 115 mm block became an industry norm. With a clear cavity option, builders enjoyed the benefits that this gives to resist rain penetration and the mason continued to use a solution that was tried and tested in terms of workability. With any other type of masonry product, cavity fill had to be introduced and this was not popular at the time with warranty authorities and property insurers. The resultant construction still allowed clear cavities, which was a major selling point. This gave the AAC industry a massive boost that lasted several years. The block strength was just under  $3 \text{ N/mm}^2$  and this complied with the 'simple rules' approach in national building regulations for the structural design of two storey housing [see later section on structural design]. The AAC industry at that time had to carry out significant research to increase the confidence with the regulatory authorities, who had questioned the masonry's performance in terms of providing sufficient acoustic properties for flanking sound and the general durability. This led to the unprecedented step by the industry to carry out significant research and testing into flexural strength testing, as well as on site acoustic testing and an array of testing to show the practical use of the products. As a result, the individual companies involved in manufacture obtained third

Przemysł ABK w tamtym czasie musiał przeprowadzić dużą ilość badań wymaganych przez organy regulacyjne, które poddawały w wątpliwość skuteczność rozwiązań pod kątem właściwości akustycznych i trwałości produktu. Doprowadziło to do bezprecedensowych badań dotyczących wytrzymałości na zginanie jak i terenowych badań akustycznych w szerokim zakresie, mających na celu pokazanie praktyczności stosowanego materiału. W wyniku tego niezależne firmy produkcyjne uzyskały ocenę jakości przez oficjalne instytucje jako zjednoczony przemysł. Wewnętrzne ściany wykonane z ABK zwiększyły swój udział w rynku mieszkaniowym do poziomu między 60% a 70%, na którym pozostaje do dziś.

Ostatecznie przepisy zaostrzono przez uwzględnienie łączeń z zapraw i zmniejszenie wartości współczynnika U do 0,45 W/m<sup>2</sup>K. Projektanci powrócili do bloków o grubości 100 mm z wypełnioną szczeliną ścienną. Obecnie stosuje się zewnętrzną warstwę ceglana oraz szczelinę o grubości od 100 do 150 mm wypełnioną w całości materiałem izolacyjnym lub wypełnioną częściowo i pozostającą szczeliną 50 mm. Wartości U ścian zewnętrznych mieszczą się przeważnie w przedziale od 0,18 do 0,25 W/m<sup>2</sup>K, a sprzedawane materiały łączą małe przewodnictwo cieplne oraz zwiększoną odporność na utratę ciepła poprzez liniowe mostki cieplne na łączeniu materiałów. Podsumowując, stosowanie ABK pozwala na efektywne kosztowo konstrukcje połączone z nową generacją materiałów termoizolacyjnych stosowanych w szczelinach ściennych. Zmiany w brytyjskich przepisach dotyczących efektywności energetycznej budynków wprowadzone w 2013 roku (3) podkreśliły potrzebę uwzględnienia mostków termicznych [wartość psi]. Przemysł ABK stworzył zestaw wytycznych konstrukcyjnych dla projektantów umożliwiający zwiększenie wartości psi w stosunku do wartości standardowych przy użyciu projektowych rozwiązań obliczeniowych, dostępnych na <http://constructivedetails.co.uk/resources>. Zestaw bardziej szczegółowych wytycznych przeznaczony dla mniejszych firm dysponujących ograniczonym wsparciem technicznym został opracowany i udostępniony na stronie <http://www.labc.co.uk/registration-schemes/construction-details>. Wytyczne te stały się obecnie bardzo powszechne w budownictwie, pozwalają na osiągnięcie dobrego poziomu efektywności energetycznej budynków oraz małą emisję dwutlenku węgla przy ograniczonym zastosowaniu drogich materiałów.

ABK zastosowano w wielu demonstracyjnych konstrukcjach 'zeroemisyjnych' oraz w budynkach o emisyjności zbliżonej do zera.

## Budynki o pełnych ścianach

Budynki o pełnych ścianach pozwalają na szybkie budowanie przy wykorzystaniu wszystkich zalet ABK, a więc małej wagi, wytrzymałości oraz właściwości termicznych. Na terenie Wielkiej Brytanii rośnie liczba przykładów zastosowania bloków o grubości 200 mm w połączeniu z zewnętrznym ociepleniem. Wymagania energetyczne stawiane obecnie przez Prawo Budowlane nie sprzyjają budownictwu jednowarstwowemu, stąd znaczna grubość bloków. Niemniej jednak, rozwiązanie to jest korzystne kosztowo i pozwala na szereg różnych możliwości wykończenia zewnętrznej

party product assessments as a united industry. AAC inner walls to houses increased its market share of the housing sector to some 60 to 70%, where it is estimated to have remained.

Ultimately regulations became more stringent and mortar joints had to be taken account, whilst with walls at a U value of 0.45 W/m<sup>2</sup>K designers reverted to 100 mm blocks with cavity fill. Today, walls are typically constructed with brick outer leaves and cavities of between 100 to 150 mm of either full filled insulation or with a partial fill and 50 mm air gap. External wall U values are typically in the range of 0.18 to 0.25 W/m<sup>2</sup>K and the product is sold on a combination of having low thermal conductivity and enhanced resistance to linear thermal bridging a construction junctions. AAC masonry provides a cost-effective wall construction solution overall, combined with a new breed of thermal insulants in the cavity. Changes to the English energy Building Regulations in 2013 (ref 3) highlighted the need to consider linear thermal bridging (psi value). The AAC industry developed a set of construction details to provide designers with enhanced psi values which provide significant improvements compared to default values within design calculation programs. These can be found at <http://constructivedetails.co.uk/resources>. A further set of more specific details aimed at smaller building companies who have limited technical support were developed and published at <http://www.labc.co.uk/registration-schemes/construction-details>. These are now well established in the marketplace and enable designers to achieve a good level of energy performance, which can be re-engineered to take more costly items out the overall design to achieve low energy and low carbon emitting buildings.

AAC has been incorporated into numerous schemes as demonstration projects which achieve 'zero carbon' status or buildings that are 'nearly zero energy' constructions.

## Solid Wall Solutions

Building with solid external walls provides a speedy form of construction that takes full advantage of AAC's unique combination of light weight, strength and superior thermal performance. There are a growing number of examples in the UK, which generally use a 200 mm thick masonry unit in combination with an external insulation system. The energy requirements of the current Building Regulations do not realistically lend themselves to a single AAC block solution, owing to the resultant excessive thickness of solution. However, the solution of solid AAC with added insulation is cost-effective and accommodates a range of external finishing solutions that makes it ideal for domestic, commercial or industrial applications.

ściany, nadających się idealnie do budownictwa mieszkaniowego, komercyjnego i przemysłowego.

## Projektowanie konstrukcyjne przy zastosowaniu ABK

W Wielkiej Brytanii stosuje się następujące dokumenty przedstawiające wytyczne dla projektowania niskokondygnacyjnych budynków mieszkalnych:

- Dokument 'A' dopuszczony przez Prawo Budowlane dla Anglii i Walii (4).
- Wytyczne konstrukcyjne dla małych budynków dla Prawa Budowlanego (Szkocja) (5).
- BS 8103-2 (Projektowanie konstrukcyjne budynków niskokondygnacyjnych – Część 2, kod postępowania dla murarstwa) (6)

Dokumenty te określają wytrzymałość bloków dla poszczególnych rodzajów budynków zgodnie z normami europejskimi, nie wymagając obliczeń konstrukcyjnych. Brytyjskie produkty ABK wytwarzane są zgodnie z tymi wymaganiami. Wymagania konstrukcyjne tych dokumentów można podsumować następująco:

- Dla budynków dwupiętrowych wytrzymałość minimalna bloków wynosi  $2,9 \text{ N/mm}^2$ .
- Dla budynków trzypiętrowych wytrzymałość minimalną dla pierwszego piętra określa się na  $7,3 \text{ N/mm}^2$ , i  $2,9 \text{ N/mm}^2$  dla dwóch pozostałych kondygnacji.

W związku z tym bloki ABK w Wielkiej Brytanii produkuje się od wytrzymałości na ściskanie wynoszącej  $2,9 \text{ N/mm}^2$ , najbardziej popularne są produkty o wytrzymałości  $3,6 \text{ N/mm}^2$ , a materiały o większej wytrzymałości stosuje się dla pierwszych pięter budynków trzypiętrowych. Niemniej jednak, obliczenia konstrukcyjne mogą być wykonywane, co pozwala na bardziej ekonomiczne rozwiązania w stosunku do rozwiązań sugerowanych przez dokumenty. Obliczenia konstrukcyjne dotyczące rozkładu mieszkania są wymagane jedynie dla budynków wyższych niż trzypiętrowe. Sugerowane jest, iż większość budynków niskokondygnacyjnych w Wielkiej Brytanii jest projektowane według 'prostych zasad', które są efektywne kosztowo i bazują na testach gotowych domów, a nie kosztownych i rygorystycznych obliczeniach. Prawo budowlane Wielkiej Brytanii zawiera wymagania dotyczące tak zwanego 'nieproporcjonalnego zawalenia', ograniczające wysokość budynków murowanych do 4 pięter. Związane jest to z uwzględnieniem zagrożenia dla konstrukcji z powodu z eksplozji gazu w jakiegokolwiek części budynku. W takich przypadkach ABK może być stosowany jedynie do wypełnień murarskich konstrukcji betonowych lub stalowych. Dla innych typów budowli przechodzi się stopniowo od wytycznych Prawa Brytyjskiego do norm europejskich [Eurokod 6]. Uwzględniając szeroki asortyment dostępnych materiałów, ich rozmiarów oraz kształtów w całej Europie zdecydowano, iż przy rozwoju norm europejskich zastosowanie podejścia jednego równania będzie bardziej korzystne od podejścia tablicowego. Niemniej jednak, w celu umożliwienia funkcjonowania takiego rozwiązania, wytrzymałość na ściskanie każdej jednostki powin-



## Structural Design of AAC Masonry

In the UK, for the design of low rise housing, the following documents set out simple design guidance for low rise housing:

- The Building Regulations Approved Document 'A' for England and Wales. (4)
- Small Buildings Structural Guidance document for the Building (Scotland) Regulations. (5)
- BS 8103-2 (Structural design of low rise buildings – Part 2 Code of Practice for Masonry walls for housing. (6)

These documents give block strength requirements for certain types of buildings in accordance with European Standards, which do not require structural calculations to be carried out. UK AAC products are manufactured to meet the requirements of the above documents. The general structural requirements of these documents can be basically summarised as:

- For two storey housing the minimum strength for blocks is  $2.9 \text{ N/mm}^2$
- For three storey housing, the lowest storey is  $7.3 \text{ N/mm}^2$ , whilst  $2.9 \text{ N/mm}^2$  is retained at the two upper levels.

AAC blocks in the UK are therefore manufactured with a minimum compressive strength of  $2.9 \text{ N/mm}^2$ , but probably the most popular strength is a  $3.6 \text{ N/mm}^2$  product, with blocks from the higher strength ranges being used at the lower storey of a three-storey building. However, structural calculations can still be carried out, which may lead to a more economical solution where the guidance suggests the higher strength ranges. Where the layout of the dwelling is outside this guidance or it is greater than three storeys, a structural design calculation is necessary. It is suggested that the clear majority of low rise housing in the UK is sized using the simple rule approach, which has proven to be cost effective based on whole house testing rather than rigorous calculation.

Within the UK Building Regulations there is a requirement for 'disproportionate collapse' effectively limit masonry constructions to four storeys, since the design considers the effect of gas explosion in any one part of the structure. AAC in these circumstances is used for infill masonry to multi-storey framed buildings, which can be of concrete or steel.

na być poddana standaryzacji lub normalizacji. Znormalizowana średnia wytrzymałość na ściskanie,  $f_b$ , zastosowana w normach europejskich, odpowiada wytrzymałości na ściskanie suchej kostki sześcienniej jakiegokolwiek materiału o boku 100 mm. Wartości obecnie deklarowane przez producentów brytyjskich, podawane dla bloków, wynoszą przeważnie 2,9, 3,6, 7,3 oraz 8,7 N/mm<sup>2</sup> i nie są podawane w formie ustandaryzowanej. Obliczenia obciążeń na ściskanie w normach europejskich bazują na praktykach stosowanych w Wielkiej Brytanii zgodnie z dokumentem BS 5628, a wytrzymałości na zginanie identyczne są z Narodowym Anekssem, identycznym z BS 5628. Materiały ABK mają wartości wytrzymałości na zginanie zgodne z wymaganiami normowymi, a wytrzymałość ta wzrasta przy zastosowaniu cienkiej warstwy zaprawy. W przypadku budowania techniką ścian szczelinowych, elementy ABK również wykazują dużą wytrzymałość na ściskanie przy budowaniu zgodnie z brytyjskimi normami.

### Zastosowanie ABK poniżej poziomu gruntu

Bloki ABK są stosowane od dekad jako budulec fundamentów. ABK wykonany z popiołu lotnego jest szczególnie odporny na działanie mrozu oraz korozję siarczanową wywołaną przez grunty spoiste. Większość materiałów przeznaczonych do zastosowania pod tym kątem jest sprawdzanych przez niezależne jednostki akredytacyjne, takie jak Brytyjska Rada Zgodności (7). Produkowane są bloki różnej grubości i nadają się jako podpory większości rozwiązań podłogowych i ściennych, niezależnie czy produkowanych w technologii pełnej czy szczelinowej. Typowe grubości bloków wynoszą 275 lub 300 mm i są dopasowane do podtrzymywania różnych konstrukcji murarskich. Korzyścią takich wymiarów jest to, iż jeden blok zastępuje dwa 100 milimetrowe bloki betonu z przestrzenią wypełniającą, oraz pozwala na natychmiastową instalację cięgien oraz zasypanie wykopów natychmiast po ułożeniu. Ograniczeniu ulega również utrata ciepła na poziomie podłogi, pozwalając na ograniczenie ilości ciepła traconego na liniowych mostkach termicznych w miejscach styku posadzki z resztą konstrukcji. Od kiedy bloki fundamentowe z ABK mogą być wykorzystywane w różnych rodzajach konstrukcji, stały się bardzo popularne na rynku brytyjskim.



For other structures, there is the gradual move from British Standards to the new suite of Eurocode 6 standards. Given the vast array of different materials, sizes and shapes of units available across Europe, it was decided when developing Eurocode 6 that a single formula approach would be more viable than a tabulated one. However, in order for this to work, the compressive strength of each unit would have to be standardised or 'normalised'. The normalised mean compressive strength,  $f_b$ , used in Eurocode 6 is the compressive strength of an air dry 100mm cube of a masonry unit. The values currently declared by manufacturers in the UK are mean air dry strengths for the complete brick or block unit typically being 2.9, 3.6, 7.3 and 8.7 N/mm<sup>2</sup> and are not quoted as 'cube' or normalised strengths.

The design for lateral load in Eurocode 6 is based on UK design practice and is like BS5628 with the values for characteristic flexural strength in the National Annex being identical to the values BS5628. AAC masonry has flexural design values that work well for UK and there are enhancements if thin layer mortar is used. In a cavity and solid wall construction, AAC structures can provide a high level of flexural load resistance when using the UK National Annex values.

### Use of AAC below ground

AAC blocks have been used for decades in the ground as foundation blocks. AAC manufactured with PFA is particularly resistant against frost damage and sulfate attack from clay type soils. Most blocks in the UK are assessed for this application by third party accreditation such as the British Board of Agrément (7). The blocks are made in range of thicknesses and are suitable for supporting most flooring solutions and structural walls whether they are solid or of cavity construction. Typical thicknesses these days are made to suit the supporting masonry and hence are between 275 and 350 mm thick. The benefit is that one foundation block replaces two 100 mm concrete blocks plus any cavity concrete fill and wall ties and trenches are backfilled as soon as installation is complete. They also have the benefit of reducing heat loss at the floor junction, helping to retain a low linear thermal bridge at this point. Since foundation blocks can be used to support other forms of construction, they have become very popular in the UK market.

Some of the thicker products on the market contain hand grips, sometimes with tongue and groove on perpend joints. A wall below ground level which is backfilled both sides is not subject to any of the lateral loads, which could apply above ground and may be laid with mortared horizontal bed joints and then simply butted together. This is confirmed in the Building Research Establishment (8) '...for below-ground construction – unless the masonry forms a retaining wall or basement walls – plain-ended units can be used with unfilled vertical joints so long as the units are built with their ends closely butted together to stop the passage of vermin.'

Czasami grubsze produkty posiadają uchwyty, często uzupełnione wyżłobieniem i profilem do kotwienia. Ściana poniżej gruntu, zakopana w gruncie nie podlega żadnym bocznym naprężeniom mogącym występować ponad ziemią, więc może być połączona poziomymi warstwami zaprawy i ułożona. Zostało to potwierdzone przez Ośrodek Badań Budowli (8): „... dla konstrukcji podziemnych – z wyjątkiem ścian bocznych i piwnic – płasko zakończone bloki mogą być stosowane bez spoiny pionowej, przy zachowaniu ścisłego przylegania bloków, w celu niedopuszczenia do przechodzenia gryzoni.”

## Belki oraz płyty podłogowe

Prefabrykaty betonowe w kształcie odwróconego T z wypełnieniami z bloków betonowych są powszechnym rozwiązaniem w konstrukcji podłóg w wielu częściach Wielkiej Brytanii. Są szczególnie odpowiednie dla gruntów o małej nośności oraz gruntów spoiстых, bardzo powszechnych w Wielkiej Brytanii, podatnych na wysadzenie i skurcze. Bloki ABK stały się coraz bardziej popularne jako materiał wypełniający na przestrzeni ostatnich lat. Podczas gdy materiały te są wypierane z rynku stopniowo przez zamienniki, takie jak bloki styropianowe [ograniczające wymaganą wartość współczynnika U], ABK również sprzyja efektywności energetycznej wykonanych podłóg. Belki przeważnie rozstawione są co 500 mm, a pomiędzy nimi umieszcza się płyty o długości 440 mm. W przeszłości produkowano w tym celu większe płyty, jednak wymagają one przeprojektowania rozkładu belek podłogowych. Do korzyści wynikających z zastosowania takiego rozwiązania należy szybkość montażu oraz małe koszty materiału. Ze względu na brak odpowiedniej normy brytyjskiej lub europejskiej dotyczącej produktów tej grupy wykonano szeroki zakres prac badawczych. W związku z tym większość produktów posiada akredytację uzyskaną przez niezależne instytuty. Podczas pracy z projektantami belek istnieje możliwość optymalizacji ich ułożenia z lekkimi blokami, pozwalająca na zmniejszenie obciążeń statycznych zarówno na belkach betonowych jak i ścianach.

Konstrukcja z belek oraz gazobetonu pozwala na dużą elastyczność w układach wyższych pięter. Podłogi z ABK mogą być wykończone przy zastosowaniu dowolnej podłogi, przy wykorzystaniu zarówno wylewek jak i podłóg drewnianych. Przy zastosowaniu w garażach stosuje się wylewki wzmocnione.

## Ściany rozdzielające

ABK był stosowany przez ponad 30 lat jako materiał do odseparowania ścian połączonych domów, jednak uległo to zmianie po zaostreniu przepisów akustycznych. Pierwotnie budowano ściany działowe o grubości 215 mm z wewnętrzną zaprawą lub ze ściany szczelinowej złożonej z dwóch warstw bloków ABK o grubości 100 mm [gęstość 600 kg/m<sup>3</sup>] i 75 mm szczeliny. Niemniej jednak, ABK nigdy nie był głównym wyborem projektantów i przemysł musiał udowodnić jego przydatność. Tradycyjnie projektanci stosowali cięższe bloki betonowe, wychodząc z założenia, iż ABK nie

## Beam and Block floors

Precast concrete inverted 'T' beams with concrete infill blocks are a common solution for ground floors in most parts of the UK. They are particularly suited to ground that has poor loadbearing conditions or in areas of clay soils that are very common in parts of the UK and subject to heave and shrinkage. Over the years, AAC blocks have become more and more popular as the infill material. Whilst this market is slowly being eroded by replacements such as polystyrene blocks [to meet the lower U values required], AAC also make a useful contribution to the energy conservation of the overall floor. The beams are typically set out at 500 mm centres and the 440 mm long blocks are laid in between. Larger blocks have been produced in the past for this application, but this may require a redesign of the floor beam layout. The benefit for the user is that the installation is fast and the solution provides a cost-effective construction. Considerable R&D and testing took place for this application since no British or European Standard existed at the time that the product was introduced to the market. Thus, most blocks again have third party accreditation. When working with beam designers it is often possible to optimise the beam layout with the lightweight blocks providing lower dead loads on both the concrete beams and the supporting walls.



A beam and aircrete block construction affords a tremendous amount of flexibility in the layout of blockwork partitions at upper floor levels. AAC suspended floors can also be finished with any type of flooring materials, including many screeds or timber particle board. If used in garages, a reinforced screed is normally applied.

## Separating Party walls

AAC constructions have been used for over 30 years as separating party walls between attached houses, but these have changed in format as acoustic regulations have become more stringent. Originally, party walls were built either as a solid 215 mm thick wall with plaster internally or a cavity wall consisting of two leaves of 100 mm AAC blocks [600 kg/m<sup>3</sup> density] with a 75 mm cavity. However, AAC was never highlighted as the primary choice and the industry has had to work hard to prove its viability. Traditionally, designers opted for heavier concrete block walls based on the perception that AAC would not have sufficient mass. Testing was

osiągnie wystarczającego ciężaru. W odpowiedzi przeprowadzono testy laboratoryjne, po których nastąpiły testy polowe, udowadniające iż ABK posiada własne 'prawo masy'. Wprowadzone w 2003 roku zmiany w prawie budowlanym wprowadzające podniesione standardy były szczególnie krzywdzące. Przedstawione wytyczne nie uwzględniły rozwiązań bazujących na ABK, a ze względu na mający wtedy miejsce szybki rozwój budownictwa [wymagający produktów o większej wytrzymałości/gęstości], ABK zaczął tracić rynek. Wprowadzono wymaganie testów akustycznych na wybranych budowach. Niemniej jednak, branża budownictwa mieszkaniowego chciała wprowadzić inne podejście nazwane „solidnymi detalami”. Podstawowym wymaganiem tego podejścia było iż „detal” konstrukcyjny powinien być w stanie ciągle przekraczać wymagania stawiane w normach, być praktyczny w warunkach budowy oraz być dostosowany do różnych wariantów wykonawstwa. Do spełnienia tych wymagań niezbędnych było 30 testów polowych uwzględniających różne kryteria związane z badaniami. W wyniku tych badań, istniejące rozwiązania ABK spełniły stawiane wymagania i umożliwiły promocję tego materiału. Ściany tworzy się z dwóch rzędów ścian ABK o grubości 100 mm ze szczeliną od 75 do 100 mm, wykończonych wewnątrz płytą gipsową. W późniejszych latach szczeliny zaczęto wypełniać izolacją w celu zmniejszenia utraty ciepła wynikającej z zachowania się szczeliny jako „komina cieplnego”. Wskutek wprowadzenia ograniczeń dotyczących utraty ciepła dla ścian działowych w ostatnich czasach, materiały ABK stały się bardziej popularne ze względu na ograniczenie mostków cieplnych na krawędziach i łączeniach ścian działowych.



### Konstrukcje w technologii cienkiej spoiny

Przeprowadzono wiele prób wprowadzenia technologii cienkiej spoiny do wykonywania ścian z ABK. Przez pewien czas w Wielkiej Brytanii dostępne były zaprawy do wykonywania murów z cienkimi spoinami. Związane to było z powstaniem nowoczesnych zakła-

carried out in laboratories to start with, followed by full scale on site testing to prove that AAC had its own 'mass law'. Changes to Building Regulations in 2003 were particularly damaging with the introduction of a higher performance standard. The guidance to the regulations omitted to show any reasonable cost effective solutions using AAC and linked to an increased number of flats being built in the UK at that time [requiring higher strength/density products], AAC started to lose market share. Selected site acoustic testing became the regulatory requirement. The house building industry, however, wanted to have another approach called 'Robust Details'. The basic requirement for this was that the construction 'detail' should be capable of being consistently exceeding the minimum performance standard given in the regulation, be practical to construct on site and must be able to accommodate variations in workmanship. To achieve the detail, 30 tests on site were needed with several criteria associated with the testing. As a result, AAC solutions exist which exceed the minimum requirements and it was possible to promote the use of the material for this application. The walls are generally constructed of two leaves of 100 mm AAC blocks with cavities ranging from 75 to 100 mm and finished internally with gypsum plasterboard. In later years, the cavities have also been filled with selected insulation to reduce the heat loss which results from heat entering the cavity and the cavity acting as a chimney. With the introduction of heat loss requirements for party walls in recent times, AAC has benefited from the resulting reduction in linear thermal bridging at the edges and junctions of party walls, making the overall solution much more viable.

### Thin Layer Construction

There have been various attempts to introduce thin layer mortar techniques and products in to the UK. Thin layer mortars linked to larger format blocks have been available for some time following the investments in new plants, which can produce blocks with appropriate dimensional tolerances. It is estimated that the market share of thin layer blockwork is less than 2% of the total AAC market. The main issues appear to be associated with the risk adverse, traditional nature of the British builders, linked to the fact that the walls are only 100 mm thick in most cases. With brickwork used extensively externally, the bricklayer has to revert to conventional mortars for the outer skin of the external wall. Nevertheless, there have been some good examples of projects and sites using this form of construction and the UK manufacturers are not giving up on this technique for the future. More recent examples have been associated with Projects looking at low energy and low carbon emitting homes, including Passiv Haus constructions. Constructions using thin layer mortars have proved to provide constructions that are airtight, even before finishes are applied, have a good acoustic performance and can achieve construction solutions with reduced thermal bridging.



dów, które były w stanie produkować bloczki o odpowiednich tolerancjach wymiarowych. Szacuje się, iż rynek elementów do ścian murowanych w technologii cienkiej spoiny stanowi jedynie 2% całego rynku ABK. Głównym problemem wydaje się niechęć do ryzyka, tradycyjna cecha ekip budowlanych w Wielkiej Brytanii. Istotne jest również to, że do wznoszenia ścian zewnętrznych stosuje się zwykle tradycyjne cegły. W takiej sytuacji murarz musi wrócić do stosowania konwencjonalnych zapraw przy konstrukcji ścian zewnętrznych, co powoduje dodatkowe komplikacje. Niemniej jednak, istnieje kilka dobrych przykładów zastosowania tej techniki, i krajowi producenci nie skreślają tej metody w przyszłości. Najnowsze przykłady stanowią projekty domów niskoemisyjnych, w tym konstrukcje domów pasywnych. Konstrukcje te wykazują dużą szczelność, nawet przed wykonaniem wykończenia, posiadają dobre właściwości akustyczne oraz ograniczone mostki cieplne.

## ABK zbrojony

Wielokrotnie próbowano wprowadzić produkty ze zbrojonego ABK na brytyjski rynek i część producentów wytwarzała takie materiały. Niemniej jednak, silnie zbrojone elementy z ABK nie osiągnęły sukcesu, ze względu na dużą ilość innych rozwiązań konkurencyjnych cenowo.

W ostatnich latach ograniczony sukces odniosły elementy o grubości 100 mm i wysokości jednego piętra, jako materiał wewnętrzny ścian szczelinowych oraz działowych. Elementy te mogą stać się popularne jeżeli rząd brytyjski zdecyduje się na zwiększenie wykorzystania „materiałów powstających poza budową” oraz „metod nowoczesnych”. Jednym z kluczowych problemów jest uwzględnienie projektowania konstrukcyjnego w normach europejskich. Prowadzone są badania czy i w jakim stopniu możliwe jest zastosowanie technik murarskich w projektowaniu i wznoszeniu konstrukcji.

## Podsumowanie

Konstrukcje ABK są powszechnie wykorzystywane w budownictwie mieszkaniowym oraz w innych rodzajach konstrukcji zarówno jako elementy nośne jak i nienośne. Materiał ten cieszy się dobrą opinią w Wielkiej Brytanii, a producenci stale optymalizują jego zastosowanie w różnych częściach konstrukcji, od fundamentów do stropów.

## Lektura uzupełniająca

Dalsze informacje dotyczące ABK w Wielkiej Brytanii można znaleźć na stronie brytyjskiego stowarzyszenia handlowego <http://www.aircrete.co.uk>. Można tam również znaleźć adresy poszczególnych producentów.

## Reinforced AAC

There have been numerous attempts to introduce reinforced AAC products into the UK market and some manufactures have produced such a material. However, there has been limited success with heavily reinforced elements, which generally have more cost-effective competitive solutions.

In recent years, there has been limited success with 100 m thick storey height elements as a material for the inner skin of external cavity walls and as partitions. This may rise in the future as the UK Government pushes for the greater use of 'off site manufacture' and 'modern methods of construction'. One of the key issues is to demonstrate structural design to Eurocodes and R&D is currently underway to determine if the construction can be designed using the principles of masonry.

## Summary

AAC constructions are widely used in housing and some other types of common buildings for loadbearing and non-loadbearing applications. The material is very much an established one in the UK and manufacturers have sought to optimise the use of the material in all parts of the construction, from foundations to superstructure.

## Further Reading

Further information of the use of AAC in the UK can be found at the UK Trade association's website at <http://www.aircrete.co.uk>. Links to individual manufactures can also be found at this site.

## Literatura / References

BS5628- Code of Practice for the Use of masonry- British Standards Institution

Eurocode 6 Design of masonry Structures. Part 1.1 General Rules for reinforced and unreinforced masonry structures.

Approved Document L to the Building Regulations. <https://www.gov.uk/government/publications/conservation-of-fuel-and-power-approved-document-l>

Approved Document A to the Building Regulations <https://www.gov.uk/government/publications/structure-approved-document-a>

Scottish Standards <http://www.gov.scot/Topics/Built-Environment/Building/Building-standards>

BS8103-Structural design of low-rise buildings –Part 2: Code of practice for masonry walls for housing

British Board of Agrément <http://www.bbacerts.co.uk/>

Building Research Establishment (BRE)- Information Paper (IP) 7/05