

## Dipl.-Ing. Torsten Schoch

Managing director of Xella Technologie und Forschungsgesellschaft mbH Kloster Lehnin  
Convener of the Technical Committee of the EAACA  
Member of the Presidium of DIN (Germany)

# Energooszczędne murowane budynki wykonane z ABK

## Energy-efficient Masonry Buildings with AAC

### 1. Wprowadzenie

Budynki o masywnych konstrukcjach są charakterystyczne dla Europy. Obecnie proste metody budowania masywnych ścian są coraz bardziej konkurencyjne z systemami lekkich konstrukcji, które wykorzystują przede wszystkim dużą grubość izolacji w celu zmniejszenia przewodnictwa cieplnego a tym samym teoretycznego zapotrzebowania na ciepło, które musi być dostarczone. Na pierwszy rzut oku prostszym i bardziej ekonomicznym podejściem wydaje się osiągnięcie pożądanego współczynnika przewodzenia ciepła poprzez zwiększenie grubości warstwy izolacji. Jednak przy projektowaniu ścian należy pamiętać o pozostałych ważnych wymaganiach takich jak: ochrona przeciwpożarowa, izolacja akustyczna, nośność i pojemność cieplna. Koniec czysto monolitycznego budownictwa wydawał się być bliski lub przynajmniej został zapoczątkowany. „Wszechstronność” nie była już potrzebna, gdyż większy priorytet uzyskały parametry termiczne. Jednak wraz z rozwojem w latach '90 izolacyjnych systemów ściennych o niskim przewodnictwie cieplnym, masywne budynki monolityczne wyznaczyły nowe standardy dla budowy domów niskoenergetycznych i pasywnych. Wykazując długie czas użytkowania, umożliwiały ograniczenie zaangażowanych środków.

### 2. Domы niskoenergetyczne i pasywne

Dom niskoenergetyczny z lat '90 można uznać za prekursora dla obecnych standardów oszczędzania energii w Niemczech. Wymagania co do szczelności budynku, komfortu i rygorystyczne podejście do kwestii kosztów wraz z obliczanym najczęściej „teoretycznym” zapotrzebowaniem budynku na ciepło były głównymi czynnikami wyboru odpowiedniego rozwiązania konstrukcyjnego i budowlanego. Ściany zewnętrzne dzięki swoim zaletom takim jak łatwość budowy, ograniczone przewodzenie ciepła, zapobieganie przegrzewania pomieszczeń latem odzyskały tradycyjne miejsce w konstrukcji. Projekty prekursorskie, takie jak Heidenheim [Niemcy] zrealizowane w latach od 1989 do 1992 opisywane były już jako domy oszczędzające energię. Dzięki zastosowaniu przy ich budowie masywnych materiałów budowlanych, spełniały one łatwiej nie tylko wymienione powyżej wymagania, lecz były także

### 1. Introduction

In Europe, where massive building construction is characteristic, simple massive building methods are currently increasingly competing with lightweight construction, which above all uses great insulation thickness to reduce the thermal conduction and thus also theoretically the heating demand that has to be covered for the building. At first sight, it may seem easier and more economical from now on to evaluate construction methods solely based on insulation thickness and less on the basis of their overall performance required with regard to other important requirements such as fire protection, sound insulation and load-bearing capacity. The end of purely monolithic building seemed near or at least to have been introduced. The “all-rounder” was no longer in demand as thermal questions in particular were weighted more heavily. But with the development of insulated walling units with low **thermal conductivity** in the 1990s, monolithic massive building set new standards for the building of low-energy and passive houses economically, saving resources and with a good expectation of a long lifetime.

### 2. Low-energy and passive houses

The low-energy house of the 1990s can be regarded as the precursor of the current energy-saving standards in Germany. Requirements like air-tightness, comfort and a stringent consideration of costs were dominant next to the mostly theoretically determined heating demand for the selection of the right construction and building services. The advantages of external walls that were especially simple to build, which both limited the thermal conduction and prevented overheating of the rooms in summer, regained their traditional place in design. Forerunner projects such as in Heidenheim [Germany] in 1989 to 1992, which were already described as energy-saving houses at the time, with their massive building materials, could not only fulfil many of the requirements mentioned above more easily but also more economically, particularly once the development of massive building materials had also integrated system solutions for lintel, slab and roof. The U-values for low-energy houses that were usual at that time were less than 0.30 W/(m<sup>2</sup>K), anticipating e.g. the energy-saving regulations in Germany

bardziej ekonomiczne. Zwłaszcza gdy zastosowanie masywnych materiałów budowlanych uwzględniano w konstrukcji nadproży, płyty stropowej i dachu.

Wartość U dla domów o małym zużyciu energii była w tym czasie mniejsza od  $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$  wyprzedzając przepisy niemieckie o oszczędności energii [EnEV] z 2007 roku. Pomiary U, które były przeprowadzone po zakończeniu budowy, wykazały, że obliczone wartości dobrze korelowały z rzeczywistością. Ta zasada powinna być udoskonalana i dalszy postęp w tym zakresie jest możliwy. Kolejnym krokiem było zaprojektowanie budynków o pasywnym zapotrzebowaniu na energię, w przypadku których wartość U jest ograniczona do  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Osiągnięcie takiego współczynnika stanowi jednak wyzwanie dla masywnych materiałów budowlanych, gdyż aby tego dokonać pojedyncza ściana musi mieć bardzo dużą grubość. Dalsze zmniejszanie przewodnictwa cieplnego i opracowanie zupełnie nowych masywnych materiałów budowlanych jest logiczną konsekwencją tego rozwoju. Na Rys. 1. pokazano dom pasywny zbudowany z bloczków autoklawizowanego betonu komórkowego. Zbudowany w Alzenau jako projekt pilotażowy, dom ten znajduje się w użytku od 18 lat, co pokazuje jak celowe i trwałe potrafią być tego typu konstrukcje.

Taki postęp nie dotyczył tylko budownictwa w Niemczech. Pojawiały się one rejonach, w których zapotrzebowanie na domy o małym zużyciu energii wzrosło skokowo w wyniku ustawowych subsydiów i stosownego nadzoru, dzięki czemu można było stosować wiele rozwiązań z użyciem masywnych materiałów. Na Rys. 2 przedstawiono konstrukcję spełniającą powyższe wymagania zrealizowaną w Danii.

Na rysunkach 3 do 10 przedstawiono kolejne przykłady domów energooszczędnych, wykonanych z ABK, zlokalizowanych na terenie Europy.

Przedstawione przykłady pokazują, że zarówno przemysł materiałów budowlanych jak i projektanci nie tylko sprostali wyzwaniom, lecz aktywnie przyczyniali się do dalszego rozwoju. Wraz z decyzją Unii Europejskiej wprowadzającą w roku 2019 lub 2021 konieczność budowy budynków o niemal zerowym zużyciu energii, pojawią się nowe wyzwania dla materiałów i konstruktorów. Artykuł

[EnEV] of 2007. Measurements that have been performed over the years on completed houses with the assistance of the users showed that the calculated values correlated well with reality. This idea could be improved further and the next conceptional step was possible. The development of buildings with passive behaviour regarding energy demand was such a step, which provided a new challenge for massive building materials. If, as is the case with passive houses, the U-values are limited to  $0.15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ , then single-shell construction with massive building materials is only achievable with very thick walls. The further reduction of the thermal conductivity and the development of completely new massive building materials was the logical conclusion of this development. Fig. 1 shows such a development, a massively built passive house of aerated concrete blocks. Built in Alzenau as a pilot project, it has now underlined for 18 years how purposeful and durable such a construction can be.

But such a development not only characterized building in Germany. Particularly in areas where the requirement for houses with a low energy demand has increased in jumps due to statutory subsidy and supervision measures, many options are available for building with massive materials. Fig. 2 shows an example from Denmark with the typical construction for this type of requirement.

The figures 3 to 10 show further examples for energy efficient houses in Europe by using AAC.

The examples show that both the building materials industry and the designer have not only been faced with challenges but have also been active in furthering developments. With the decision of the EU to require the building of nearly zero-energy buildings from 2019 or 2021 for new building, a new challenge has arrived for massive building. Article 2 of the Directive on the energy performance of buildings defines a nearly-zero energy building as "a building that has a very high energy performance. The nearly zero or very low amount of energy required should be covered to a very significant extent by energy from renewable sources, including energy from renewable sources produced on-site or nearby." This means that the calculated or measured quantity of energy, which is needed to cover the energy demand for the normal use of the building [heating, cooling, ventilation, hot water



Rys. 1. Pasywny dom w Alzenenau

Fig. 1. Passive house in Alzenau

Building year / Rok budowy: 1999

Building type / Typ budynku: SFH

Heated area / Pow. ogrzewana:  $120 \text{ m}^2$

Number of storeys / Liczba kondygnacji: 2

Ext. walls / Ściany zew.: 24 cm AAC

+20 cm AAC insulation / izolacji ABK

Primary Energy / energia pierwotna:  $51 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Heating demand / Zapotrzebowanie na ciepło:  $14.9 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$

Air tightness / Szczelność powietrzna:  $0.4 \text{ h}^{-1}$



Rys. 2. Budynek pasywny w Danii.

Fig. 2. Passive house in Denmark

Building year / Rok budowy: 2010

Building type / Typ budynku: SFH

Heated area / Pow. ogrzewana: 105 m<sup>2</sup>

Number of storeys / Liczba kondygnacji: 2

Ext. walls / Ściany zew.: 15 cm AAC +15 cm AAC insulation / izolacji ABK

Primary Energy / Energia pierwotna: 32 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Specific heat load / Obciążenie cieplne pomieszczeń: 11 W/m<sup>2</sup>

Air tightness / Szczelność powietrzna: 0,6 h<sup>-1</sup>



Rys. 3. Dom zeroemisyjny w W. Brytanii

Fig. 3. Zero carbon house in UK

Building year / Rok budowy: 2008

Building type / Typ budynku: FH

Certificate: Code level 6, Zero Carbon house / Świadectwo: poziom 6, dom zeroemisyjny

Number of storeys / Liczba kondygnacji: 2

Ext. walls / Ściany zew.: 20 cm AAC

+18 cm ETIC / system izolacji

Air leaking / Straty powietrza: 1 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>

2 Dyrektywy w sprawie charakterystyki energetycznej budynków definiuje budynek prawie zeroenergetyczny jako „budynek charakteryzujący się bardzo dużą wydajnością energetyczną. Wymagana niemal zerowa lub bardzo mała ilość energii powinna być w znacznym stopniu uzyskana ze źródeł odnawialnych, w tym z energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych produkowanych na miejscu lub w pobliżu”. Oznacza to, że obliczona lub mierzona ilość energii potrzebna do pokrycia zapotrzebowania na energię w normalnie użytkowanym budynku [ogrzewanie, chłodzenie, wentylacja, ciepła

and lighting] is so small that it can be produced without problems by renewable sources at the building. In order to approach such a level with secure forecasts of costs and energy consumption, pilot projects are a tried and tested method, which can record the development due to statutory measures more widely than is possible with market-oriented projects alone. The political and economic constraints could be set with the *Plus-Effizienzhaus* programme of the German ministry of construction [BMVBS]. More details about this programme can be found in (2) and (3).



Rys. 3. Dom zeroemisyjny w W. Brytanii

Fig. 3. Zero carbon house in UK



Rys. 5. Dom pasywny w Holandii

Fig. 5. Passive house in Netherland



Rys. 6. Dom pasywny w Szwecji

Fig. 6. Passive house Sweden

woda i oświetlenie] jest tak mała, że może być wytwarzana bez problemów ze źródeł odnawialnych zainstalowanych w danym budynku. W celu osiągnięcia takiego poziomu kosztów i zużycia energii, stosuje się projekty pilotażowe, monitorujące rozwój znacznie precyzyjniej niż w przypadku projektów zorientowanych na rynek. Ograniczenia polityczne i gospodarcze można zdefiniować przy pomocy programu „Dom Efektywny Plus” niemieckiego ministerstwa budownictwa [BMVBS]. Więcej szczegółów na temat tego programu można znaleźć w (2) i (3). Projekt pilotażowy w tym

Building year / Rok budowy: 2009

Building type / Typ budynku: FH

Heated area / Pow. ogrzewana: 105 m<sup>2</sup>

Number of storeys / Liczba kondygnacji: 2

Ext. walls / Ściany zew.: 20 cm AAC

+9 cm mineral wool / wełna mineralna

Air leaking / Straty powietrza: 6 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>

Building year / Rok budowy: 2010

Building type / Typ budynku: SFH

Number of storeys / Liczba kondygnacji: 2

Ext. walls / Ściany zew.: 15 cm AAC

+12 cm XPS

Primary Energy / Energia pierwotna: 32 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Specific heat load / Obciążenie cieplne pomieszczeń: 10 W/m<sup>2</sup>

Building year / Rok budowy: 2010

Building type / Typ budynku: FH

Heated area / Pow. ogrzewana: 180 m<sup>2</sup>

Number of storeys / Liczba kondygnacji: 2

Ext. walls / Ściany zew.: 50 cm AAC

Primary Energy / Energia pierwotna: 28 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Specific heat load / Obciążenie cieplne pomieszczeń: 10 W/m<sup>2</sup>

Air tightness / Szczelność powietrzna: 0,6 h<sup>-1</sup>

The pilot project in this programme, situated in Berlin, functions as a visiting card for the German answer to the efficiency directive of the EU. Planned as a temporary building, it has all the features that can today be described as “state-of-the-art”. And as is usual for such “beacon” projects, it has lightweight walls with plenty of insulation. The U-values were < 0.15 W/(m<sup>2</sup>K) and thus still less than the level intended for passive houses. It would be wrong to draw the conclusion from this too quickly that massive single-skin construction has no future. A wide range of designs is called for and



Rys. 7. Dom pasywny w Austrii

Fig. 7. Passive house Austria



Rys. 8. Dom pasywny w Słowenii

Fig. 8. Passive house Slovenia



Rys. 9. Dom pasywny w Polsce

Fig. 9. Passive house Poland

programie, będąc zlokalizowany w Berlinie, pełni rolę wizytówki dla niemieckiej odpowiedzi na dyrektywę o efektywności energetycznej UE. Planowany jako budynek tymczasowy ma wszystkie cechy, które można określić jako „najnowocześniejsze”. I jak to zwykle bywa w przypadku takich projektów „pokazowych” ma lekkie ściany z dużą ilością izolacji. Wartość U wynosi  $<0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$  a tym samym jest niższa niż w przypadku domów pasywnych.

Building year / Rok budowy: 2009  
 Building type / Typ budynku: FH  
 Heated area / Pow. ogrzewana: 202,52 m<sup>2</sup>  
 Number of storeys / Liczba kondygnacji: 3  
 Ext. walls / Ściany zew.: 30 cm AAC + 30 cm ACC insulation / izolacja ABK  
 Specific heat load / Obciążenie cieplne pomieszczeń: 11 W/m<sup>2</sup>

Building year / Rok budowy: 2007  
 Building type / Typ budynku: FH  
 Heated area / Pow. ogrzewana: 165.5 m<sup>2</sup>  
 Number of storeys / Liczba kondygnacji: 2  
 Ext. walls / Ściany zew.: 40 cm AAC  
 + 16 cm mineral wool / wełna mineralna  
 Primary Energy / Energia pierwotna: 51 kWh/(m<sup>2</sup>a)  
 Heating demand / Zapotrzebowanie na ciepło: 20 kWh/m<sup>2</sup>a  
 Air tightness / Szczelność powietrzna: 0,5 h<sup>-1</sup>

Building year / Rok budowy: 2010  
 Building type / Typ budynku: FH  
 Heated area / Pow. ogrzewana: 220.2 m<sup>2</sup>  
 Number of storeys / Liczba kondygnacji: 2  
 Ext. walls / Ściany zew.: 17.5 cm AAC  
 + 10 cm phenolic resin / żywica fenolowa + 12.5 cm AAC  
 Heating demand / Zapotrzebowanie na ciepło: 15 kWh/m<sup>2</sup>a  
 Air tightness / Szczelność powietrzna: 0,6 h<sup>-1</sup>

all who can make a contribution can compete. Under this motto, the network “Effizienzhaus Plus” has been founded. This network sees itself as a sort of platform to exchange views outside the usual market customs and gain through shared experience. Composed of various house suppliers and developers, the network enables the reflection of the varied regional building traditions and thus the constant extension of the resulting views. Fig. 11 shows the sample locations as of November 2016 according to (4).



Rys. 10. Dom pasywny w Rumunii

Fig. 10. Passive house in Romania

Building year / Rok budowy: 2010  
 Building type / Typ budynku: terraced house / bliźniak  
 Heated area / Pow. ogrzewana: 140 m<sup>2</sup>  
 Number of storeys / Liczba kondygnacji: 2  
 Ext. walls / Ściany zew.: 25 cm AAC  
 + 30 cm glass wool / wełna szklana  
 Primary Energy / Energia pierwotna: 113 kWh/(m<sup>2</sup>a)  
 Air tightness / Szczelność powietrzna: 0,6 h<sup>-1</sup>



01904 Weifa  
 03205 Calau/Niederlausitz  
 10317 Berlin  
 14656 Brieselang  
 21109 Hamburg -Wilhelmsburg  
 21335 Lüneburg (2)  
 28355 Bremen-Oberneuland  
 28359 Bremen  
 34128 Kassel  
 50226 Köln-Frechen (6)  
 60327 Frankfurt/Main (2)  
 61532 Bad Homburg  
 65366 Geisenheim/Rheingau  
 67705 Stelzenberg  
 72072 Tübingen-Lustnau  
 74722 Buchen-Hollerbach  
 78089 Unterkirnach  
 83471 Schönau am Königssee  
 84489 Burghausen  
 91126 Schwabach  
 94469 Deggendorf / Natternberg  
 97702 Münnerstadt  
 97776 Eußenheim

Rys. 11. Przykładowe miejsca realizacji domów z programu „Efektywność Plus”

Fig. 11. Sample locations for efficiency house plus [4]

Wyciągnięcie wniosku, że masywna konstrukcja ze ścianami jednowarstwowymi nie ma przyszłości było by jednak zbyt pochopne i niewłaściwe. Wymagane jest zdobycie wielu doświadczeń i wszyscy mogący wniesć swój wkład mogą konkurować. Pod tym hasłem powstał program „Dom Efektywny Plus”. Sieć ta postrzega siebie jako pewną platformę do wymiany poglądów, poza zwykłymi kontaktami rynkowymi, zyskując dzięki dzieleniu się doświadczeniami. Sieć ta składa się z indywidualnych inwestorów i deweloperów, umożliwiając tym samym odzwierciedlenie

Examples of the use of massive external wall construction can be found in the pilot projects in Deggendorf, Schwabach and Brieselang. In order to find out whether the houses comply with the requirements posed by the BMVBS programme, the building phase is normally followed by two years of monitoring. The Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft GmbH has accompanied the house in Brieselang as a support partner, although the data for the other buildings are also available from the network (4).

różnych tradycji budownictwa regionalnego, a tym samym ciągłe poszerzania horyzontów. Na Rys. 11 przedstawiono lokalizację wykonanych obiektów do listopada 2016 (4).

Przykłady użycia masywnej, zewnętrznej konstrukcji ścian można znaleźć w projektach pilotażowych w Deggendorf, Schwabach i Brieselang. W celu sprawdzenia, czy domy spełniają wymagania stawiane przez program BMVBS, faza budowy następuje zwykle po dwóch latach monitorowania. Firma Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft GmbH towarzyszyła podczas budowy domu w Brieselang jako partner wspierający/ Dane dotyczące innych budynków są również dostępne w sieci Internet (4).

### **3. Domy z monolitycznymi zewnętrznymi ścianami z programu „Efektywny Dom Plus”**

#### **3.1. Opis budynków**

Zarówno budynek w Schwabach jak i Brieselang mają monolityczne ściany zewnętrzne – jeden z murami z cegły z gliny, drugi z bloczków betonu komórkowego Ytong. W wariantie Ytong po raz pierwszy w Niemczech użyto nowego rodzaju bloczków combi-block „Energy Plus”, który jest produkowany z betonu komórkowego o różnej gęstości, a przy ich montażu nie stosuje się klejów [spoin]. Więcej szczegółów można znaleźć w (5) i (6). Tablica 1 zawiera wybraną konstrukcję zewnętrznych elementów budynku oraz wybraną technologię budowy.

Niewielka różnica wartości U elementów zewnętrznych pozwala oczekiwac podobnego poziomu oszczędności energii dla danej skorupy budynku. Większy obszar fotowoltaiczny dla domu murowanego z cegły z gliny powinien powodować znacznie większą produkcję energii słonecznej. Wykonawcy obu domów wykorzystują jako główny element ogrzewania pompę ciepła, chociaż występują różnice pomiędzy projektami. Dom ze ścianami z gliny wykorzystuje również pompę ciepła w celu ogrzania zewnętrznego wlotu powietrza oraz bojlera. Dom z betonu komórkowego wykorzystuje sprawdzone rozwiązania i nie ma instalacji zwiększającej, przy najmniej teoretycznie, sprawność sieci. Jak można się domyślać, koszty nie odgrywają tutaj znaczącej roli. Oba budynki posiadają kontrolowaną wentylację mechaniczną z odzyskiem ciepła. Dane dotyczące zużycia mediów w domach rejestrowane były przez co najmniej dwa lata przez szereg czujników i były porównywane z danymi projektowymi. Czujniki do monitorowania wzajemnej wilgotności i temperatury we wnętrzu oraz przyrządy do pomiaru przepływu ciepła stanowiły podstawę do oceny klimatu wewnętrznego i porównania z rzeczywistym obliczonym przepływem ciepła.

Rys. 12 przedstawia układ czujników na parterze domu M1.

#### **3.2. Wyniki pomiarów**

Powyżej opisane budynki wykorzystują energię elektryczną w celu utrzymania określonych warunków bytowych. W obliczeniach wykorzystano różnicę pomiędzy ilością zużytej energii elektrycznej zmierzona licznikiem a ilością energii wyprodukowanej w instalacji fotowoltaicznej. W domu M1 uwzględniono również ilość energii

### **3. Effizienzhaus Plus houses with monolithic external walls**

#### **3.1. Description of the buildings**

Both the building in Schwabach and that in Brieselang have monolithic external walls – one with clay masonry units, the other with Ytong aerated concrete blocks. For the Ytong variant, a new combi-block “Energy-Plus”, which is produced with aerated concrete of varying densities at the works and without adhesives, has been used for the first time in Germany. Further details can be found in [5] and [6]. Table 1 contains the selected construction of the external building elements and the selected building services technology.

The only slight difference in the U-values of the external elements permits the expectation of a similar energy-saving level for the building envelopes. The larger photovoltaic area on the house of clay masonry should result in much greater solar-based energy production. The building services of both houses use an air source heat pump as the central element, although the networking of the elements shows differences. The house of clay masonry also has a ground source heat pump in order to warm the outside air intake and the storage cylinder is also heated with warm extracted air. The aerated concrete house uses already proven networking and abstains from a further, at least theoretically possible, improvement of plant performance. As can be guessed, the costs in particular were not an insignificant consideration here. Both buildings have controlled mechanical ventilation with heat recovery. The consumption figures in the houses were recorded over a period of at least two years at numerous meters in the building services and compared to the calculated figures. Sensors to monitor the relative humidity and temperature in the interior as well as heat flow measuring instruments delivered the basis for the assessment of the interior climate and a comparison of the actual with the calculated heat flow. Fig. 12 shows the arrangement of the sensors in the ground floor of the M1 house.

#### **3.2. Result of the monitoring**

Since both the buildings described above use electricity as the energy source for the operation of the building services, the balance consequently resulted from the comparison of the consumed electricity measured by the meters with the yield from the photovoltaic plant. In the M1 house, the yield from the solar heating plant also had to be included. The overall balance for the cumulative final energy according to [4] is shown in Fig. 13. For the M1 house, the shares from the solar heating plant are missing from the balance.

Both buildings achieved an energy surplus during the monitoring, as shown in Fig. 13. The objective of the project, to generate more energy than was consumed, was therefore fulfilled. Since the monitoring starting times were different, direct comparisons of a cumulated assessment are not reliable. It can be easily recognised that due to the high share of solar energy, the balance was inevitably determined by the monthly radiation intensity. Related to the heated floor area (the Schwabach house was significantly

Tablica 1 / Table 1

## WYBRANA KONSTRUKCJA ZEWNĘTRZNYCH ELEMENTÓW BUDYNKU (4)

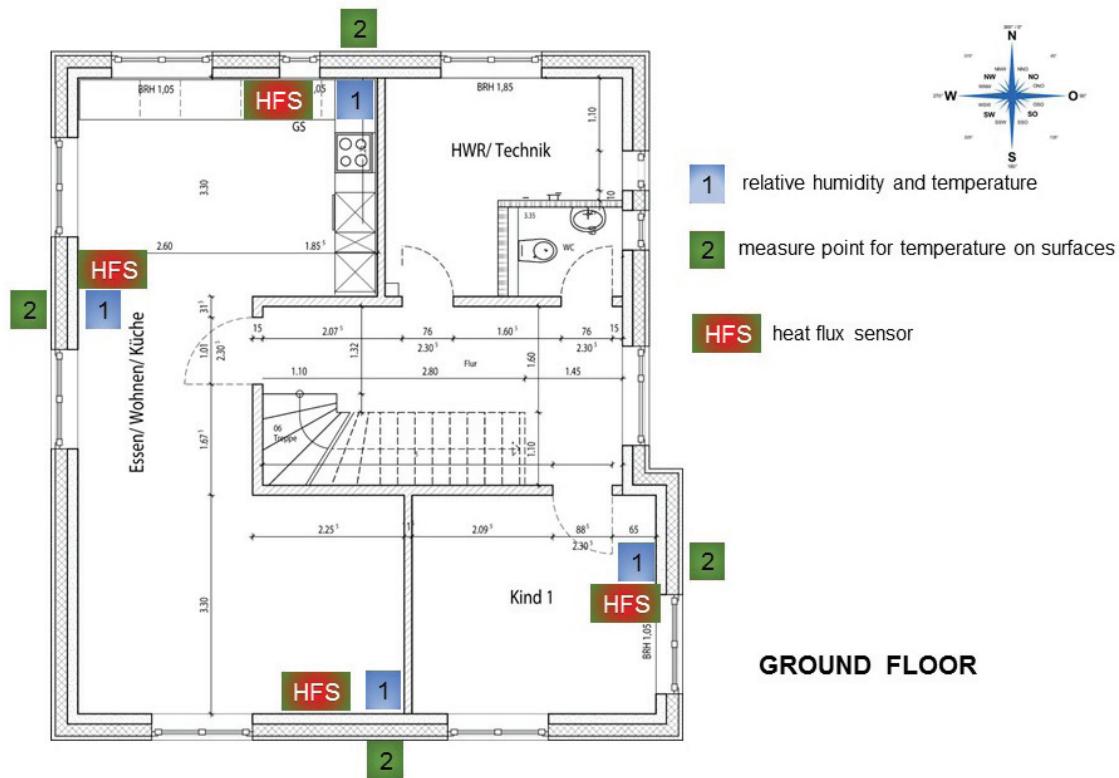
## SELECTED CONSTRUCTION OF THE EXTERNAL BUILDING ELEMENTS ACC. [4]

House Schwabach [clay brick] /Dom Schwalbach [cegła gliniana]	House Brieselang M1 [AAC] / Dom Brieselang [ABK]																																																																																			
Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert	Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und ihr U-Wert																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bauteil</th><th>Aufbau / Material</th><th>Dicke [mm]</th><th>U-Wert [W/m²K]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Außenwand (von innen nach außen)</td><td>Gipsputz</td><td>15</td><td rowspan="3">0,14</td></tr> <tr><td>Mauerwerk aus Hochlochziegeln</td><td>490</td></tr> <tr><td>Leichtputz</td><td>20</td></tr> <tr> <td>Fenster</td><td>Fenster mit Drefachverglasung (g-Wert = 0,45)</td><td>-</td><td rowspan="3">0,80</td></tr> <tr> <td rowspan="3">Dach (von oben nach unten)</td><td>PV-Module in Dach integriert</td><td></td></tr> <tr><td>Holzfaserdämmplatte WLG 045</td><td>35</td></tr> <tr><td>Mineralfaserdämmplatten WLG 040 zwischen Sparren</td><td>300</td></tr> <tr> <td rowspan="3">Bodenkonstruktion (von oben nach unten)</td><td>Dampfsperre</td><td></td><td rowspan="3">0,12</td></tr> <tr><td>Gipskartonplatten 2-lagig</td><td>12,5</td></tr> <tr><td>Estrich</td><td>60</td></tr> <tr> <td rowspan="4">Bodenkonstruktion (von oben nach unten)</td><td>Trittschall-Dämmung WLG 045</td><td>30</td><td rowspan="4">0,14</td></tr> <tr><td>Wärmedämmung WLG 035</td><td>50</td></tr> <tr><td>Betonplatte</td><td>300</td></tr> <tr><td>Perimeterdämmung WLG 040</td><td>150</td></tr> </tbody> </table>	Bauteil	Aufbau / Material	Dicke [mm]	U-Wert [W/m²K]	Außenwand (von innen nach außen)	Gipsputz	15	0,14	Mauerwerk aus Hochlochziegeln	490	Leichtputz	20	Fenster	Fenster mit Drefachverglasung (g-Wert = 0,45)	-	0,80	Dach (von oben nach unten)	PV-Module in Dach integriert		Holzfaserdämmplatte WLG 045	35	Mineralfaserdämmplatten WLG 040 zwischen Sparren	300	Bodenkonstruktion (von oben nach unten)	Dampfsperre		0,12	Gipskartonplatten 2-lagig	12,5	Estrich	60	Bodenkonstruktion (von oben nach unten)	Trittschall-Dämmung WLG 045	30	0,14	Wärmedämmung WLG 035	50	Betonplatte	300	Perimeterdämmung WLG 040	150	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bauteil</th><th>Aufbau / Material</th><th>Dicke [mm]</th><th>U-Wert [W/m²K]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">Außenwand (von innen nach außen)</td><td>Gipsputz</td><td>10</td><td rowspan="4">0,15</td></tr> <tr><td>Porenbetonstein</td><td>155</td></tr> <tr><td>Mineralische Dämmpflatte WLG 045</td><td>180</td></tr> <tr><td>Porenbetonstein</td><td>65</td></tr> <tr> <td>Fenster</td><td>Kunststofffenster mit Dreifach-Verglasung (g-Wert = 0,45)</td><td></td><td rowspan="2">0,8</td></tr> <tr><td>Abdichtung</td><td></td></tr> <tr> <td rowspan="3">Dach (von oben nach unten)</td><td>Wärmedämmung</td><td>260</td><td rowspan="3">0,16</td></tr> <tr><td>Dampfsperre</td><td></td></tr> <tr><td>Gipskartonplatte</td><td>12,5</td></tr> <tr> <td rowspan="5">Bodenkonstruktion (von oben nach unten)</td><td>Zementestrich</td><td>65</td><td rowspan="5">0,16</td></tr> <tr><td>PE-Folie</td><td>1</td></tr> <tr><td>Dämmung</td><td>100</td></tr> <tr><td>Bitumen Bahn</td><td>5</td></tr> <tr><td>Beton</td><td>200</td></tr> <tr><td>Dämmung</td><td>120</td></tr> </tbody> </table>	Bauteil	Aufbau / Material	Dicke [mm]	U-Wert [W/m²K]	Außenwand (von innen nach außen)	Gipsputz	10	0,15	Porenbetonstein	155	Mineralische Dämmpflatte WLG 045	180	Porenbetonstein	65	Fenster	Kunststofffenster mit Dreifach-Verglasung (g-Wert = 0,45)		0,8	Abdichtung		Dach (von oben nach unten)	Wärmedämmung	260	0,16	Dampfsperre		Gipskartonplatte	12,5	Bodenkonstruktion (von oben nach unten)	Zementestrich	65	0,16	PE-Folie	1	Dämmung	100	Bitumen Bahn	5	Beton	200	Dämmung	120
Bauteil	Aufbau / Material	Dicke [mm]	U-Wert [W/m²K]																																																																																	
Außenwand (von innen nach außen)	Gipsputz	15	0,14																																																																																	
	Mauerwerk aus Hochlochziegeln	490																																																																																		
	Leichtputz	20																																																																																		
Fenster	Fenster mit Drefachverglasung (g-Wert = 0,45)	-	0,80																																																																																	
Dach (von oben nach unten)	PV-Module in Dach integriert																																																																																			
	Holzfaserdämmplatte WLG 045	35																																																																																		
	Mineralfaserdämmplatten WLG 040 zwischen Sparren	300																																																																																		
Bodenkonstruktion (von oben nach unten)	Dampfsperre		0,12																																																																																	
	Gipskartonplatten 2-lagig	12,5																																																																																		
	Estrich	60																																																																																		
Bodenkonstruktion (von oben nach unten)	Trittschall-Dämmung WLG 045	30	0,14																																																																																	
	Wärmedämmung WLG 035	50																																																																																		
	Betonplatte	300																																																																																		
	Perimeterdämmung WLG 040	150																																																																																		
Bauteil	Aufbau / Material	Dicke [mm]	U-Wert [W/m²K]																																																																																	
Außenwand (von innen nach außen)	Gipsputz	10	0,15																																																																																	
	Porenbetonstein	155																																																																																		
	Mineralische Dämmpflatte WLG 045	180																																																																																		
	Porenbetonstein	65																																																																																		
Fenster	Kunststofffenster mit Dreifach-Verglasung (g-Wert = 0,45)		0,8																																																																																	
Abdichtung																																																																																				
Dach (von oben nach unten)	Wärmedämmung	260	0,16																																																																																	
	Dampfsperre																																																																																			
	Gipskartonplatte	12,5																																																																																		
Bodenkonstruktion (von oben nach unten)	Zementestrich	65	0,16																																																																																	
	PE-Folie	1																																																																																		
	Dämmung	100																																																																																		
	Bitumen Bahn	5																																																																																		
	Beton	200																																																																																		
Dämmung	120																																																																																			

pozyskanej z ogrzewania słonecznego. Ogólny bilans skumulowanej energii końcowej według (4) przedstawiono na Rys. 13. Dla domu M1 nie wyszczególniono części energii pochodzącej z ogrzewania solarnego.

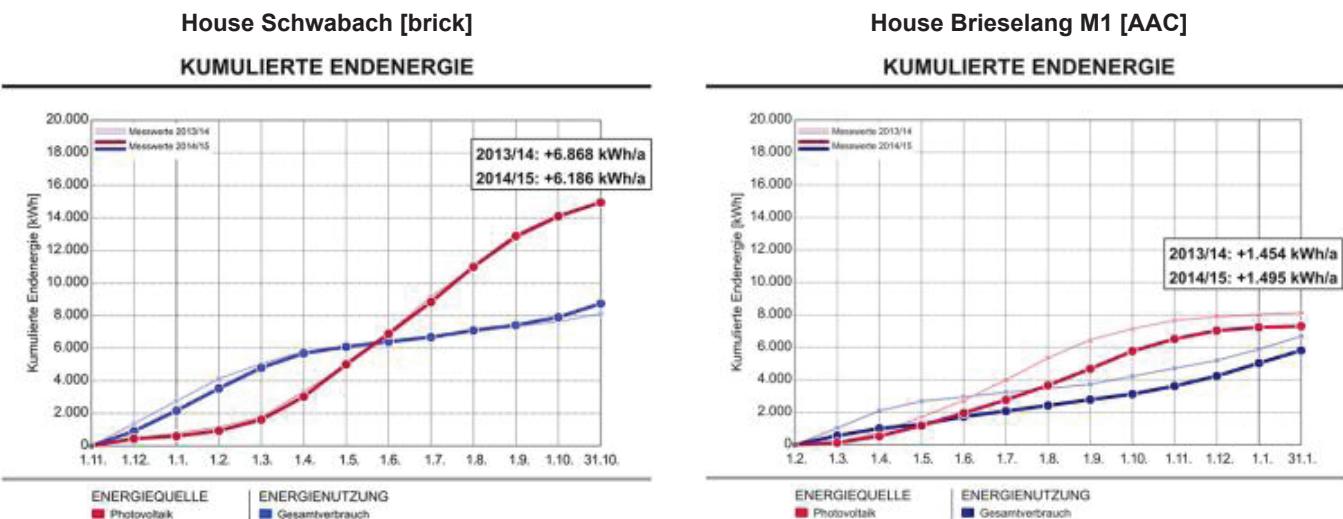
Obydwa budynki wykazały nadwyżkę energii podczas monitorowania, co przedstawiono na Rys. 13. W związku z tym zrealizowano cel projektu, czyli wytworzono więcej energii niż zostało

larger than the M1 house) and considering the different time periods of monitoring, the final energy consumption of the Brieselang house was  $-22 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  and of the Schwabach house was  $-27 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Or to express it differently: in the given cumulated magnitude, local use and/or feeding in of the solar electricity generated was possible. The clear surplus, which was indeed fed into the network from both houses, permits the conclusion for further developments to rethink the individual system components and



Rys. 12. Układ czujników na parterze domu M1.

Fig. 12. Arrangement of the sensors in the ground floor of the M1 house

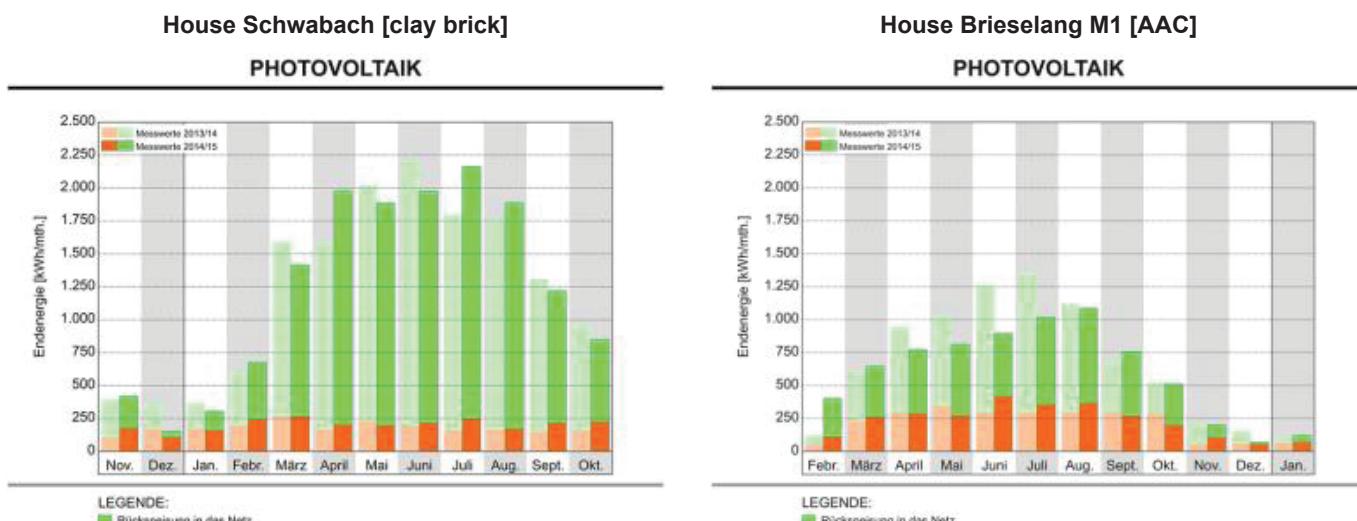


Rys. 13. Skumulowana energia całkowita wg (4).

Fig. 13. Cumulated final energy according to (4)

zużyte. Ponieważ czasy rozpoczęcia monitorowania były różne, bezpośrednie porównanie całkowitej oceny energetycznej nie jest wiarygodne. Łatwo zauważać, że ze względu na duży udział energii słonecznej saldo było nieuchronnie determinowane przez miesięczną intensywność promieniowania słonecznego. Uwzględniając fakt, że w domu w Schwabach jest ogrzewanie podłogowe [dom w Schwabach był znacznie większy niż dom M1] oraz biorąc pod uwagę różne okresy monitorowania, końcowe zużycie energii w domu Brieselang wynosiło  $-22 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  a w domu

also the construction of the building envelope. Massive buildings with a neutral or even positive energy balance should also be achievable with U-values of the external building elements, which are nearer to those demanded by the current energy-saving regulations in Germany (EnEV 2016), in particular, when the configuration of the plant enables a high proportion of locally used energy from the regenerative sources. Fig. 14 shows the relationship between local consumption and feeding in for both buildings [4].



Rys. 14. Relacja pomiędzy lokalną konsumpcją a produkcją energii w obu budynkach (4)

Fig. 14. relationship between local consumption and feeding in for both buildings (4)

Schwabach -27 kWh/(m<sup>2</sup>a). Wyrażając to inaczej: w danym okresie pomiarowym możliwe było wytworzenie dostatecznej ilości energii pochodzącej z OZE potrzebnej do funkcjonowania analizowanych obiektów. Wyraźna nadwyżka energii, która została wytworzona i wprowadzona do sieci, w przypadku obu domów, pozwala na dalsze prace mające na celu zwiększenie wydajności systemów. Rozważać należy poszczególne elementy systemu a także geometrię całego budynku. Masywne budynki o neutralnym lub nawet dodatnim bilansie energetycznym mogą być budowane dzięki wartościom U zewnętrznych elementów budynku, które spełniają wymagania obecnych przepisów dotyczących oszczędzania energii w Niemczech [EnEV 2016]. W szczególnych przypadkach wykorzystują energię pochodzącą ze źródeł odnawialnych zlokalizowanych w najbliższym sąsiedztwie. Rys. 14 przedstawia zależność między konsumpcją lokalną a produkcją jej przez oba budynki (4).

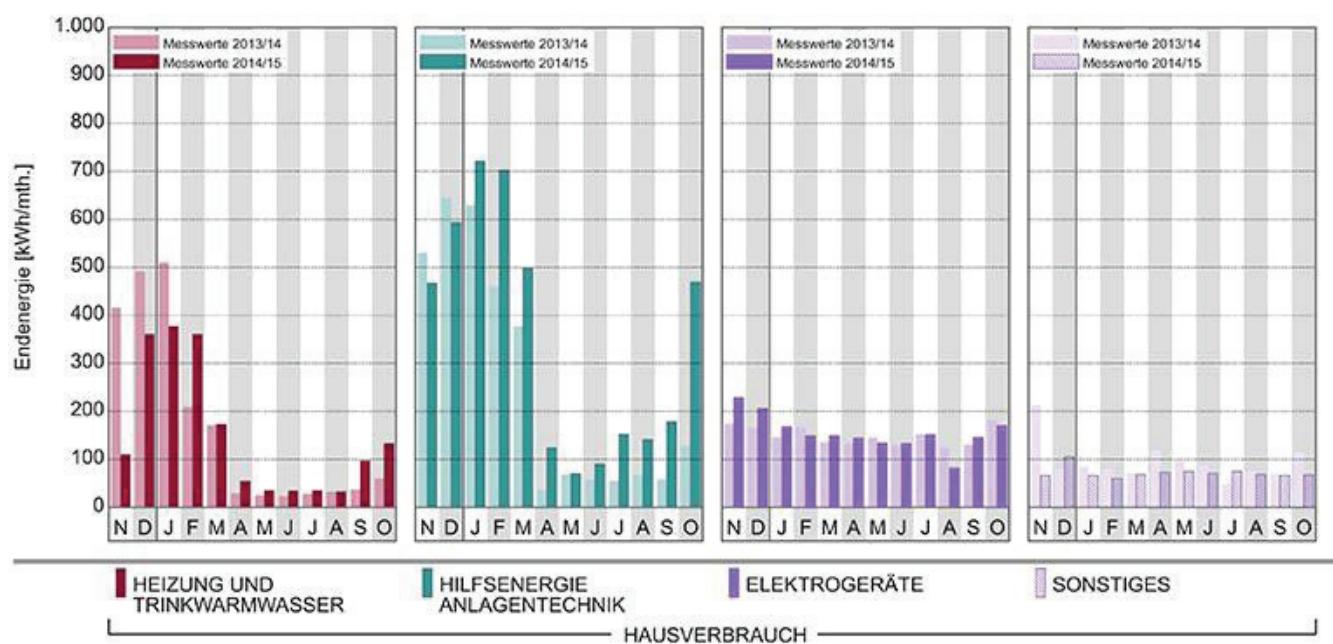
Proporcja zużywanej energii elektrycznej w badanych domach jest nieco większa w przypadku Brieselang niż domu w Schwabach, wynika to z różnych celów zagospodarowania energii. Dom w Schwabach w bilansie energetycznym nie miał odrębnej pozycji zapotrzebowania na energię dla samochodu elektrycznego. Odległość przejechana każdego miesiąca w domu M1 w Brieselang była w przybliżeniu stała w miesiącach monitorowania. Możliwość ciągłego ładowania akumulatora elektrycznego w samochodach w godzinach wieczornych lub nocnych jest niewątpliwie większa w miesiącach letnich a tym samym wpływa na równowagę energii elektrycznej wykorzystywanej w domu M1. Reasumując jednak, całkowita ilość energii elektrycznej nie jest zadowalająca. Rozwój technologii akumulatorów, który mogą zmagazynować dostępną nadwyżkę energii, do zużycia w domu w dłuższym okresie czasu, może być jednym z najważniejszych zadań do rozwiązania w ciągu najbliższych lat. Ponadto projekt mógł nie uwzględniać kilku ważnych czynników. Jeden z nich odnosi się do zróżnicowanej w czasie konsumpcji energii przez systemy działające w budynku.

The proportion of the electricity used in the house is on average slightly more for the Brieselang house than for the Schwabach house, which derives from the different uses of electric mobility in the projects. While the Schwabach house had no published and/or measured consumption for the electric car, the distance driven each month at the M1 house in Brieselang was approximately constant in the months of monitoring. And the opportunity of still being able to charge the battery of the electric car in the evening or night time is undoubtedly greater in the summer months and thus influences the balance of the electricity used in favour of the M1 house. All-in-all, however, the total of electricity used is not altogether satisfactory. The development of battery technology, which can make the surplus available for the consumption in the house for a longer time after storage, may be one of the most important and already recognised tasks of the coming years. Moreover, the project was able to refute a few preconceptions. One of these refers to the proportions of consumption by individual components of the building services. One example at this point is the electricity used by the fans in the ventilation system. The energetic effect of such plant is sometimes underestimated or even denied with a reference to the electricity consumption of such plant. With an average of 14 kWh per month, the fans were clearly small consumers. On the other hand, it cannot be denied that they consumed almost as much electricity as was used for cooking each month in the house. One or another approach for the reduced electricity consumption of ventilation fans should therefore be investigated further. Fig. 15 shows the most important balance share from both buildings [4].

Clear differences are shown by the consumption for the auxiliary energy of the building services, which depends above all on the plant configuration. They make clear that laboriously planned consumption figures and the concentration on the building envelope can be quickly countered by the installed building services. The consumption for heating and hot water tended to be higher in the first year of data recording than in the second year. This was due to different temperatures in the heating months and also to the

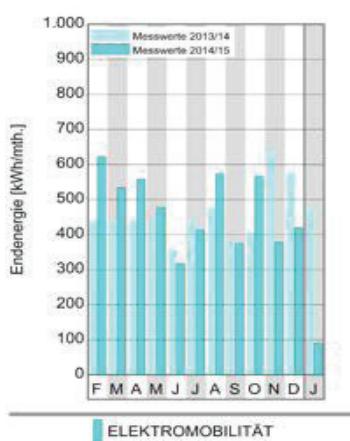
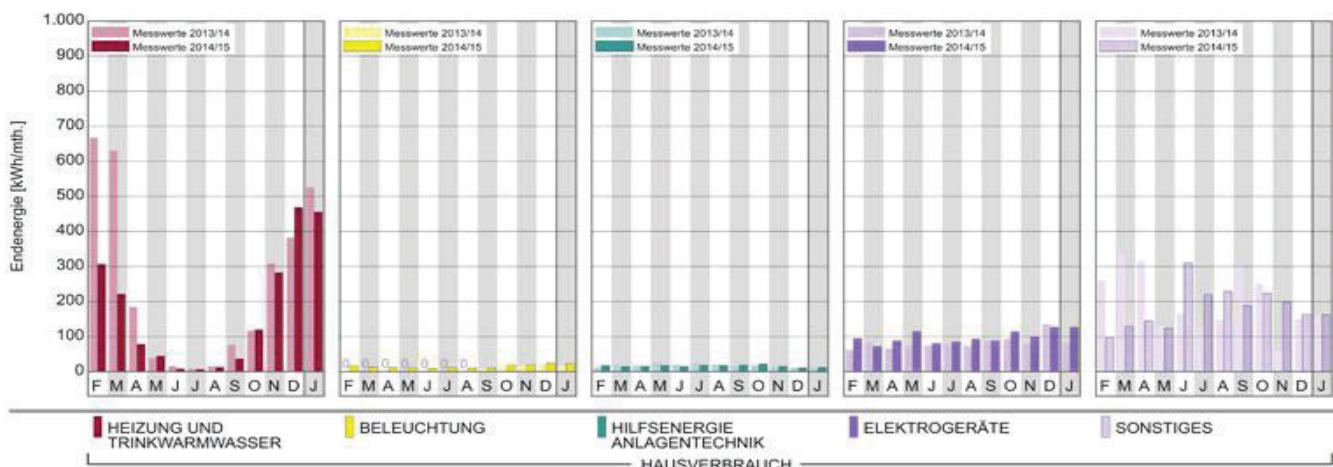
House Schwabach [clay brick]

**MONATLICHER ENDENERGIEVERBRAUCH**



House Brieselang M1-house [AAC]

**MONATLICHER ENDENERGIEVERBRAUCH**



Rys. 15. Udział poszczególnych systemów w bilansie obu budynków

Fig. 15. Balance share from both buildings [4]

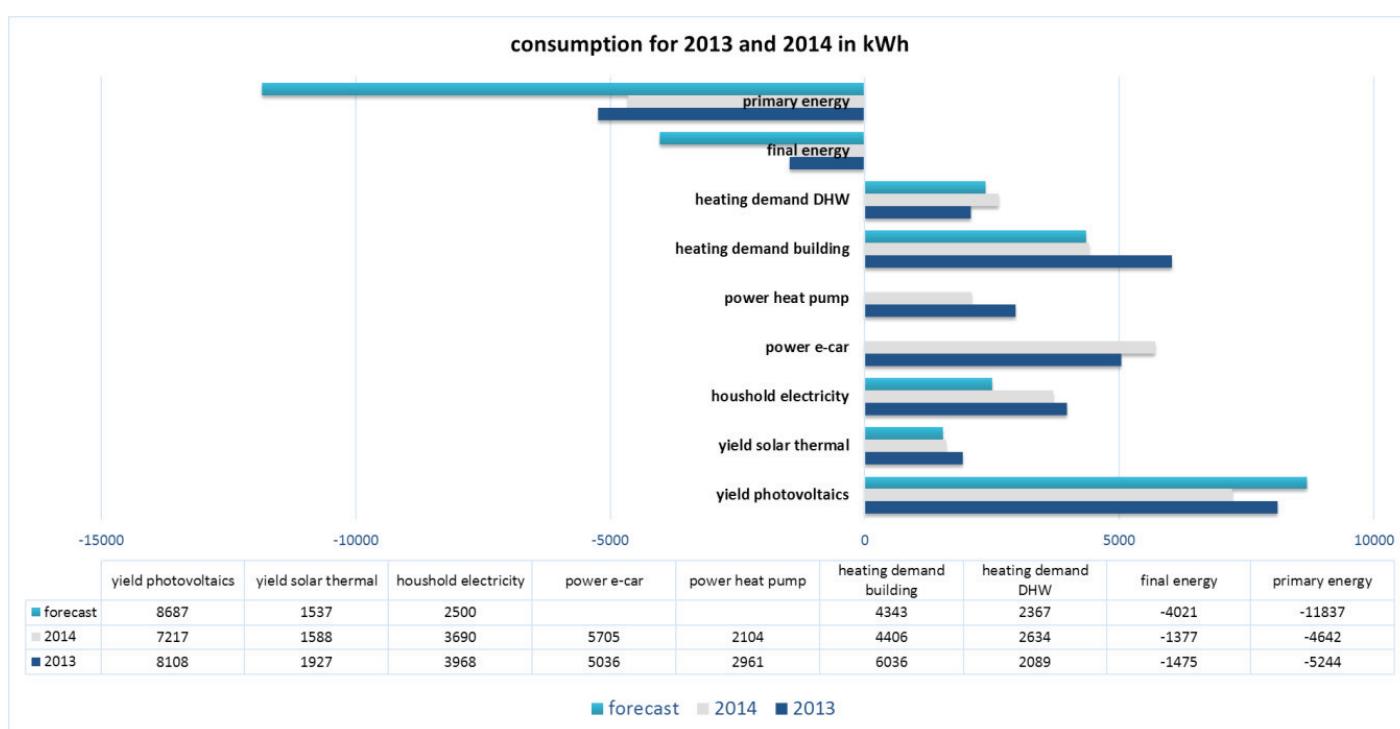
Przykładem może być energia elektryczna wykorzystywana przez wentylatory w systemie wentylacyjnym. Efekt energetyczny takiej instalacji jest czasami niedoceniany, a niekiedy nawet pomijany w odniesieniu do zużycia energii przez taka instalację. Zużywając średnio 14 kWh miesięcznie, wentylatory były małymi konsumentami energii. Z drugiej strony nie można zaprzeczyć, że zużywały prawie tyle samo energii ile było potrzebne do gotowania każdego miesiąca. Należy zatem zbadać perspektywę zmniejszenie zużycia energii przez wentylatory. Rys. 15 przedstawia najważniejsze udziały bilansowe obu budynków (4).

Występują wyraźne różnice w zużyciu energii w poszczególnych systemach budynku co wynika przede wszystkim z konfiguracji sieci. Wyniki pomiarów wyraźnie wskazują na trudności w planowaniu konsumpcji energii, gdyż jej niedobory mogą być wynikiem nierównomiernej eksploatacji budynku. Zużycie energii cieplnej i ciepłej wody w pierwszym roku monitorowania budynku było wyższe niż w roku drugim. Wynikało to z różnych temperatur w miesiącach ogrzewania a także z „nieustabilizowanego” poboru tych mediów przez mieszkańców domu. W związku z tym należy zaznaczyć, że zależy to od wydajności poszczególnych systemów oraz że temperatura wnętrza nie musi być zbyt wysoka, co również wpłynie na ograniczenie zużycia energii. W analizie danych warto zwrócić uwagę na korelację pomiędzy mierzonymi wartościami a ich zgodnością z obliczonymi prognozami. Obliczenia dla budynku M 1 w Brieselang przeprowadzono zgodnie z normą DIN V 18599 dla klimatu umiarkowanego. Różnice przedstawiono na Rys 16. Widać, że różnice w zapotrzebowaniu na ciepło a także wyraźne odchylenia w ilości zużywanej energii elektrycznej w domu przekładają się na wartość salda rocznego. W obliczeniach przyjęto maksymalną wartość, 2500 kWh rocznie, natomiast faktyczna kon-

„unstandardised” behaviour of the inhabitants in their use of hot water. It should be mentioned in this connection that the adjustment of the building services and the hint that the interior temperatures did not really have to be so high also had an influence on the reduction of consumption. It is interesting to see in connection with the recording of the data, to what extent the measured values agreed with the calculated forecasts. The calculation for the building was performed according to DIN V 18599 with a reference climate. Differences from the forecast for the M1 house in Brieselang are shown in Fig. 16. It is noticeable that particularly the deviations in heating demand (see above) and also the clear deviations in the electricity consumed in the house are the reason for the different annual balances. While max. 2500 kWh annually were taken into account in the calculation, the actual consumption, despite the use of domestic devices with A+++ labelling, differed by more than 1000 kWh per year from this figure.

The measured thermal energy for the heating of water also exceeded the value calculated according to DIN V18599 for the house in Brieselang by about 1000 kWh. Since monitoring in Brieselang only started in February, the years 2014 and 2015 are shown here. For the years 2015 to 2018, all the values in the M1 house will continue to be recorded and assessed outside the project in order to enable statements about the long-term behaviour.

From the results described so far, it could be deduced that the building envelope only plays a minor role in the consumption figures that are finally decisive for the user. In contrast: only a well-insulated building envelope makes it possible to make clear the reserves that are undoubtedly present in the building services and remedy these at neutral cost. On the other hand, the implemented



Rys. 16. Obliczone zapotrzebowanie i zmierzona konsumpcja elektryczna dla domu M 1.

Fig. 16. Calculated demand and measured consumption M1-house Brieselang

sumpcja różniła się o ponad 1000 kWh, pomimo użycia urządzeń domowych z etykietą A+++.

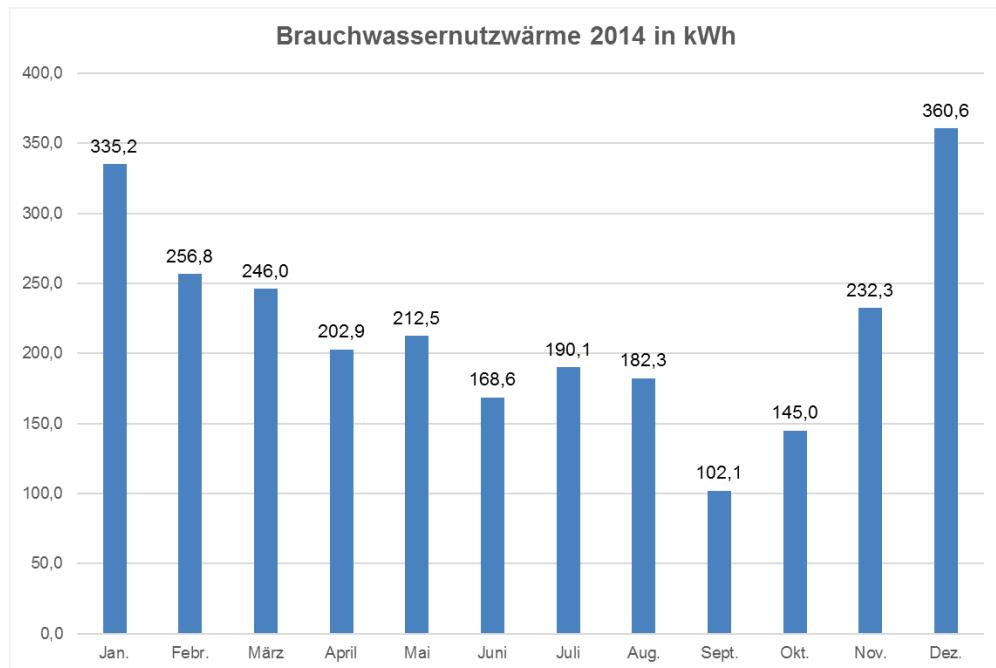
Zmierzona energia cieplna zużyta do ogrzewania wody również przekroczyła wartość obliczoną wg DIN V 18599. Dla domu M1 w Brieselang było to około 1000 kWh. Ponieważ monitorowanie Brieselang rozpoczęto dopiero w lutym przedstawiono tu lata 2014 i 2015. W latach 2015-2018 wszystkie wartości dla domu M1 będą nadal rejestrowane i oceniane poza projektem, aby umożliwić ocenę zachowania długoterminowego.

Z dotychczas przedstawionych wyników można wnioskować, że bryła budynku odgrywa niewielką rolę w ilości zużywanej przez niego energii. Natomiast tylko dobrze izolowana bryła budynku pozwala na osiągnięcie rezerw energetycznych uzyskanych z zainstalowanych w nim źródeł energii odnawialnej, przez co zmniejszyć koszty użytkowania. Z drugiej strony realizowane projekty pokazują, że stale postępujące obniżanie współczynnika U należy uznać za działanie kosmetyczne, gdyż przy pewnej jego wartości inne czynniki zaczynają odgrywać dominującą pozycję w kosztach. Samo obniżanie współczynnika U jest zjawiskiem pozytywnym jednak nie gwarantuje ciągłego zmniejszanie kosztów użytkowania domu. Ponieważ mierzoną ciepło przepływającą przez mury zewnętrzne domu M1 Brieselang możliwa była ocena jakościowa części bryły budynku. Celem tego pomiaru było przede wszystkim porównanie wartości U obliczonej zgodnie z normą DIN EN ISO 6946 a zmierzoną wartością. Ponieważ bezpośredni pomiar wartości U jest możliwy tylko przez pomiar przepływu ciepła, to teoretyczne i mierzone wartości mogą być wykonywane tylko w określonych warunkach temperaturowych dla okresu pomiaru. I tu trzeba przyjąć ograniczenia. Zmierzona wartość U jest obliczana z przepływu ciepła, biorąc pod uwagę temperaturę w pomieszczeniu oraz temperaturę wewnętrzną i zewnętrzną. W szczególności fakt, że w momencie gdy słońce świeci na zewnętrzną powierzchnię, mierzona różnica temperatur nie jest już odpowiednia do wyznaczania wartości U, i może to powodować nieoczekiwane duże odchylenia w ciągu dnia. Pomiar temperatury na zewnętrznej ścianie musi być wykonany w zależności od intensywności promieniowania słonecznego, dlatego punkt pomiaru musi być określony dynamicznie, co nie jest proste, w przeciwnym razie spowoduje to złą pracę urządzenia. Wartość współczynnika U w okresie nagrzewania ma decydujące znaczenie dla obliczenia zapotrzebowania na ciepło, właściwym rozwiązaniem byłoby przeprowadzenie pomiaru w okresie ogrzewania i dokonanie jego obliczeń przy wykorzystaniu średniej a obliczenia powinny być wykonywane z należytą starannością. Jak pokazano w Tablicy 1 dla domu M1 w Brieselang wybrano zewnętrzną ścianę zbudowaną z bloczków z betonu komórkowego o dwóch różnych gęstościach. Teoretycznie obliczona wartość U wynosi  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Ocenę pomiarów i obliczenie rzeczywistej wartości U przedstawiono na rysunkach 18 i 19. Pokazują one wartości północnej i południowej ściany zewnętrznej, zmierzone w trakcie ogrzewania od października 2014 do marca 2015. Obliczeń dokonano na podstawie przepływów ciepła i temperatury powierzchni. Powierzchnia konstrukcji była biała. Oporność muru uzyskana zewnętrznej temperatury

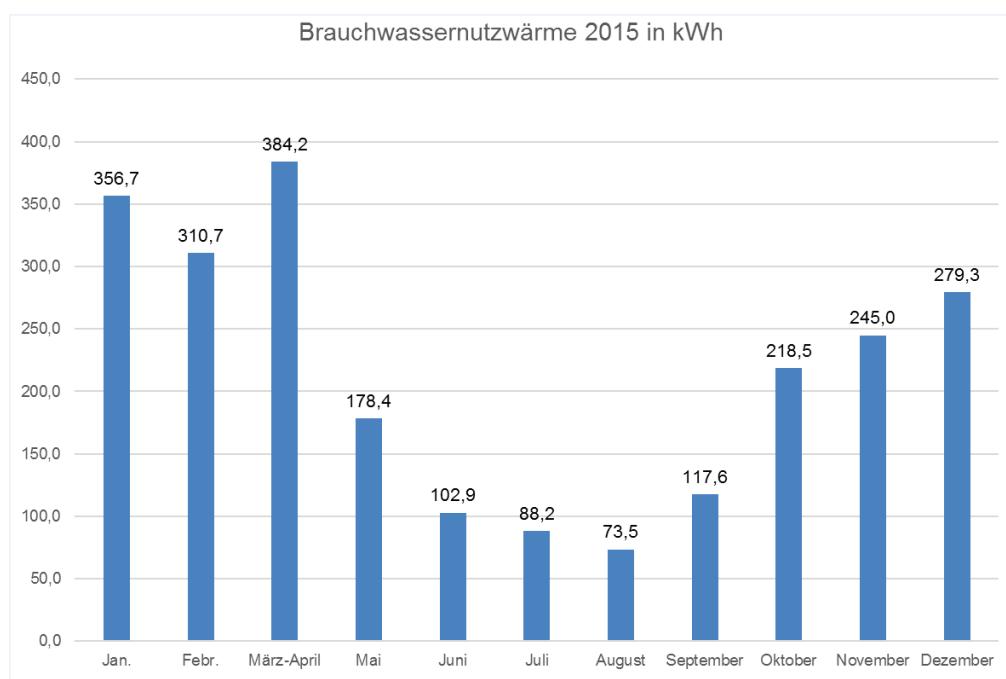
and measured projects also show that a constantly progressing lowering of the U-values is at the best to be regarded as a cosmetic action, the success of which does indeed make the absolute values for the demand calculation smaller but cannot solve the problem itself. Since the thermal flows through the external walls were also measured in the M1 house in Brieselang, a qualitative evaluation of part of the building envelope was possible. The objective of this measurement was above all to compare the U-value calculated according to DIN EN ISO 6946 with the measured U-value. Since a direct U-value measurement is only possible by measuring the heat flow, the theoretical and the measured values can only be performed considering the decisive temperature conditions for the period of measurement. And limitations have to be accepted here. The measured U-value is calculated from the heat flow taking into account the temperatures in the room and the inside and outside surface temperatures. In particular the fact that when the sun shines on the external surface, the measured temperature difference is no longer suitable for the derivation of the U-value, can lead to surprisingly high deviations during a day. The temperature measurement at the outside face of the wall has to be performed depending on the intensity of the solar radiation, therefore the measurement point has to be specified dynamically, which is not simple or would result in an unreasonable amount of work for measurement with the switching of various measurement points. Since above all the U-value in the heating period is decisive for the calculation of the heating demand, it would be sensible as a first step to undertake the measurement in the heating period and evaluate it with a sliding average, although for this procedure as well the calculated-actual comparison should be performed with the appropriate care.

As shown in Table 1, an external wall consisting of a combination of aerated concrete produced with two different densities was selected for the M1 house in Brieselang. The theoretically calculated U-value is  $0.15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . The evaluation of the measurements and the calculation of the actual U-value is shown in Figs. 18 and 19. These show the U-value of the north and south external walls for the heating period from October 2014 to March 2015 calculated from the heat flows and the surface temperatures. The surface of the construction is white rendered. The surface resistance derived from the inside room and surface temperatures during the measurement period shown here has a value of  $0.13 \text{ (m}^2\text{K})/\text{W}$ , which corresponds to the proposed value according to DIN EN ISO 6946. Since the sensors on the outside were installed at little depth in the masonry, the external surface resistance was not calculated.

The deviation of the moving U-value from the calculated value is to be categorised as very slight for the displayed heating period. Effects of the U-value of massive construction mostly settling with a delay due to the initial water content could not be confirmed for the measurement period. One of the important arguments for continued reliance on the advantages of massive construction even in nearly zero energy buildings is the high acceptance of the inhabitants based above all on the expected durable solutions and to some extent the less important advantages for the interior climate.



2014 target: 1507 kWh real: 2633 kWh



2015 target: 1507 kWh real. 2355 kWh

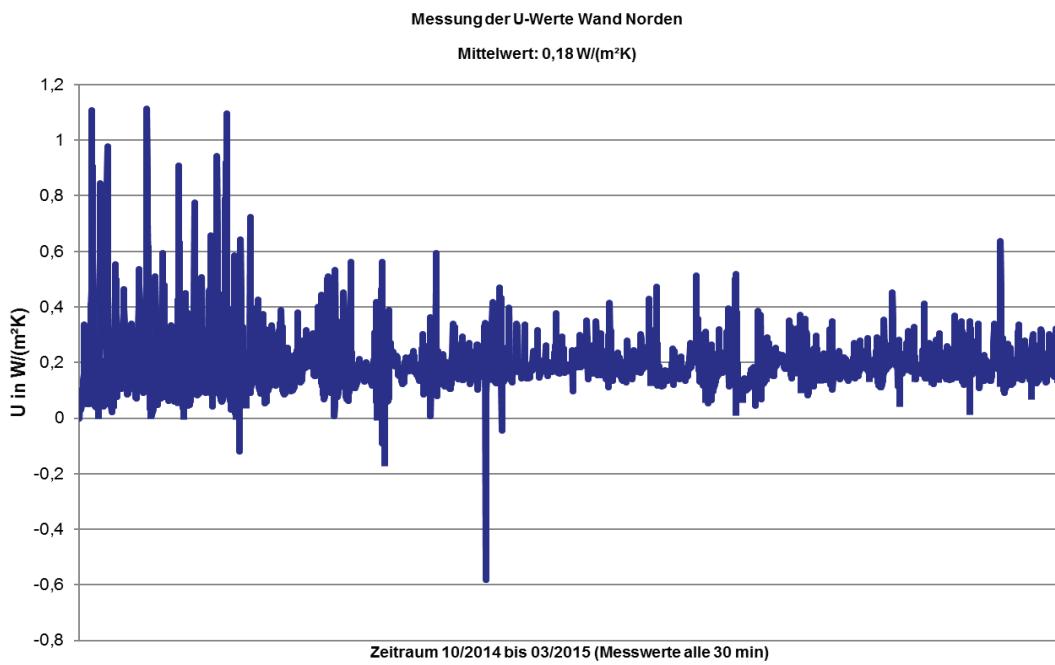
Rys 17. DHW domu M1 w Brieselang w 2014 i 2015 roku.

Fig. 17. DHW M1-house Brieselang in the years 2014 und 2015

pomieszczenia i powierzchni zewnętrznej w przedstawionym tutaj okresie pomiarowym wynosi  $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ , co odpowiada wartości obliczonej wg DIN EN ISO 6946. Ponieważ czujniki na zewnątrz zostały zainstalowane na niewielkiej głębokości w murze, nie obliczono zewnętrznej rezystancji powierzchni.

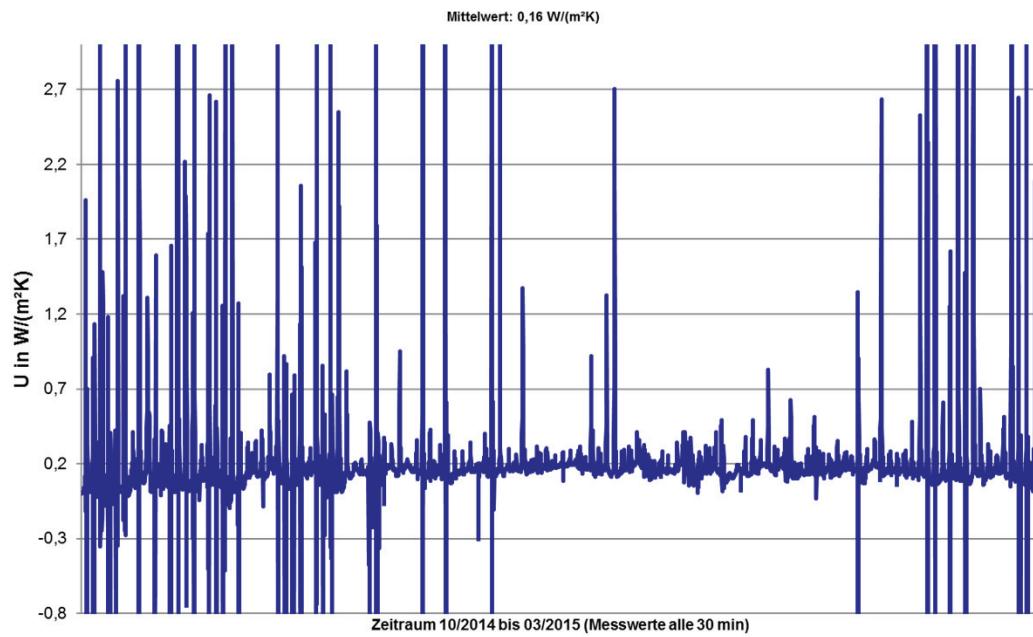
Dla analizowanego okresu czasu zmienność wyników jest niewielka i nie odbiegają one znacząco od średniej. Rozbieżności

This argument is supported, for example, by the high satisfaction impressively expressed by the owners of the M1 house, although this is not a proof. For this purpose, the measurements of the internal room temperatures and the surface temperatures would be suitable, which provided an indication of the comfort of the rooms. In the supported building projects, the inside surface temperatures of the wall were still over  $20^\circ\text{C}$ , even at low outside temperatures



Rys. 18. Obliczona wartość współczynnika U na podstawie pomiarów strumienia ciepła [północna ściana].

Fig. 18. Calculated mean U-value derived from the measured heat flow [north wall]

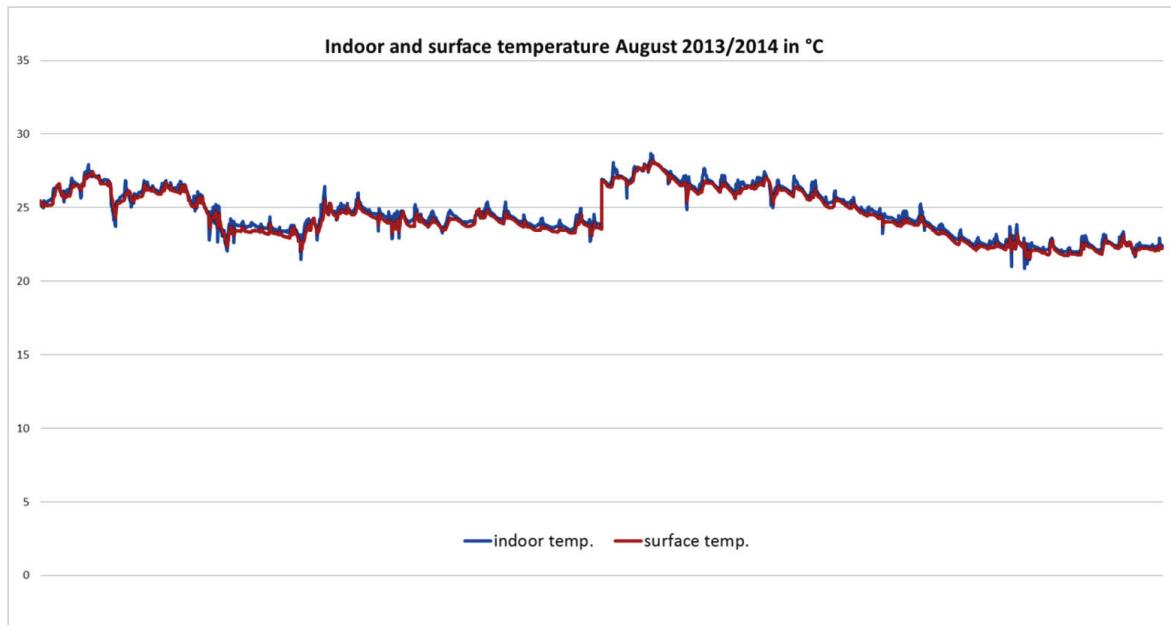


Rys. 19. Obliczona wartość współczynnika U na podstawie pomiarów strumienia ciepła [południowa ściana]

Fig. 19. Calculated mean U-value derived from the measured heat flow [south wall]

wynikają ze zmiennej ilości wody skondensowanej w murze na przestrzeni całego okresu pomiaru. Jednym z ważniejszych argumentów przemawiającym za stosowaniem masywnych ścian w budynkach o niemal zerowym zapotrzebowaniu na energię, jest duża akceptacja mieszkańców, którzy oczekują przede wszystkim trwałych rozwiązań, kładąc mniejszy nacisk na warunki wewnętrz budynku. Ten argument jest poparty dużą satysfakcją wyrażaną przez właścicieli domu M1, chociaż nie jest to dowód. W tym celu odpowiednie okazały się pomiary temperatur we wnętrzu pomieszczenia oraz temperatur na zewnątrz, co dowo-

[Fig. 20]. Due to the good thermal insulation, the surface temperature was in the most cases only slightly less than the measured air temperature [red line in Fig. 20]. Comfortable in the temperate climate of Middle Europe also means today that the heating of the rooms in summer should be restricted as much as possible and cooling can be omitted. The recorded room temperatures under summer conditions at the location show that not only the size and the number of windows but also the thermal storage capacity of the adjacent building elements is decisive. If this is accompanied by ventilation by the user or by controlled ventilation during the



Rys. 20. Temperatura wewnętrzna w sierpniu 2013-2014 roku [salon]

Fig. 20. Measured indoor temperature in August 2013-2014 [living room]

dzieli komfortu w pomieszczeniach. W analizowanych budynkach temperatura wewnętrznej powierzchni ściany wynosiła ponad 20°C, nawet przy niskich temperaturach zewnętrznych [rys. 20]. Ze względu na dobrą izolację termiczną temperatura powierzchni była w większości przypadków tylko nieznacznie mniejsza niż mierzona temperatura powietrza [czerwona linia na wykresie 20]. W umiarkowanym klimacie środkowoeuropejskim oznacza to, że nagrzewanie pomieszczeń w lecie powinno być ograniczone w jak największym stopniu a chłodzenie można ominąć. Zmierzona temperatura pomieszczeń w warunkach letnich w analizowanym budynku, wskazuje, że decydujące znaczenie ma nie tylko liczba i wielkość okien ale także pojemność cieplna poszczególnych elementów budynku. Jeśli umiejętnie sterujemy wentylacją (włączmy ją w drugiej połowie nocy) oraz prawidłowo cieniuujemy budynek w dzień, temperatura powietrza utrzymuje się poniżej 28°C nawet w dłuższych okresach gorąca bez wykorzystywania dodatkowej energii na chłodzenie. Na rysunku 20 przedstawiono temperaturę w salonie domu M 1 mierzona od sierpnia 2013 do 2015 roku.

### 3.3. Efektywność ekonomiczna

Poza kwestią doboru odpowiedniej technologii pozwalającej osiągnąć zamierzony cel techniczny pozostaje zawsze pytanie o koszty. Znane są liczne sposoby zmniejszania kosztów, często o sprzecznych doniesieniach na temat ich skuteczności, co utrudnia obiektywną ocenę ich wpływu na opłacalność danej technologii. Nie ma ogólnie uznanej metody oceny efektywności ekonomicznej danej technologii i norma EnEV 2013 nie wprowadza takowej, nawet mimo politycznej presji Niemieckiej Rady Federalnej. Wciąż pozostaje tylko możliwość zastosowania dynamicznych lub statycznych kalkulacji inwestycyjnych przy zastosowaniu jak najbardziej odpowiednich założeń. Dla inwestora budynku, zasadniczą sprawą jest jego zdolność kredytowa a stosowanie energooszczędnich rozwiązań wpływa na nią poprzez zwiększe-

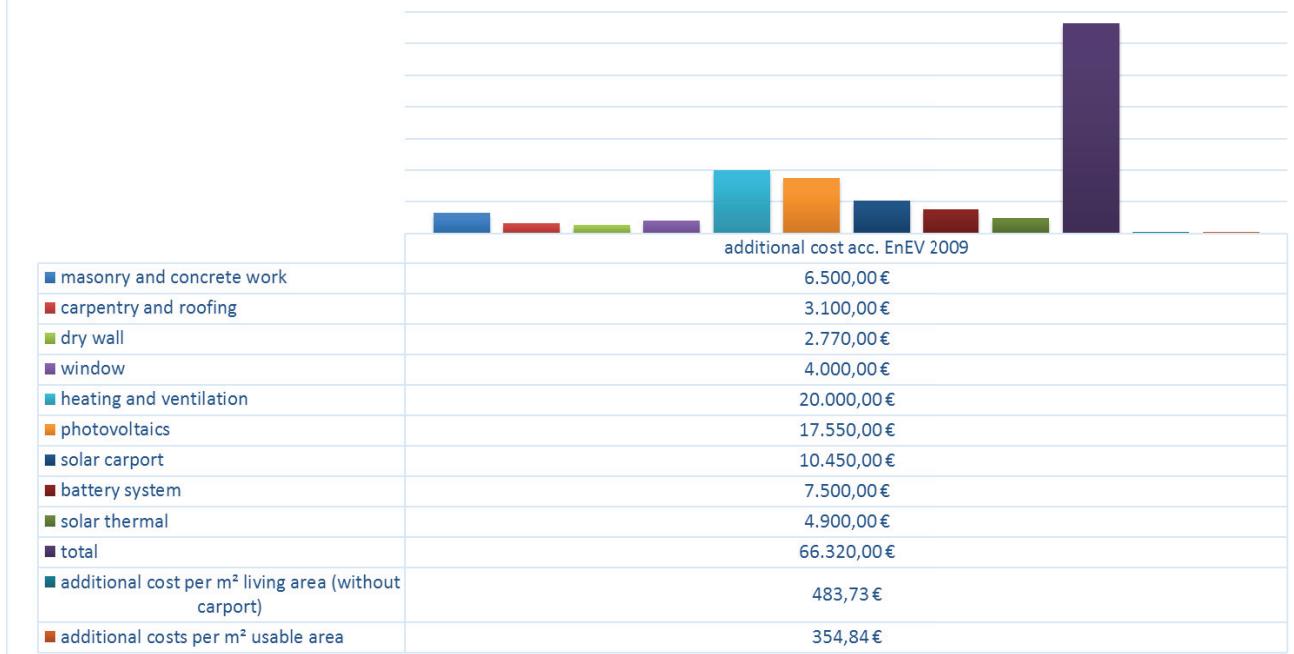
second half of the night and the available sun shading is correctly used, the temperatures remain less than 28 °C even during longer hot periods without the use of additional cooling energy. Fig. 20 shows the room temperatures for the living room of the M1 house in August of the years 2013 to 2015.

### 3.3. Cost-effectiveness

In addition to the question, which technology enables an objective to be achieved, there is however always the question, at what economic outlay this is achieved. Numerous of cost-effectiveness with sometimes contradictory statements do not make it simpler to evaluate the selected method; there is no generally acknowledged rule and this was not introduced into the EnEV 2013, even after political pressure from the German Federal Council. There still only remains the possibility of using dynamic or static investment calculations and to explain the assumptions to be made there as well as possible. For the building owner, who thinks less about precautionary expenses in a building contract, the comparison between individual options that come into question and their effects on his credit requirement will always be decisive. The range of extra costs, which arise for the buildings in the network compared to the level required by building regulations, were all of a similar magnitude. The extra costs of the M1 house compared to EnEV 2009, which was applicable for this building contract, are shown in Fig. 21.

For the building envelope, about 12. 000 € more had to be spent to reach the intended insulation level, a relatively small sum compared to the extra costs for the building services. It should be possible to halve the extra costs of about 490 €/m<sup>2</sup> residential area in the course of further development and the adaptation and improvement of the plant components. A further lowering of the U-values would make little sense, since this would in no way solve the problem of costs.

## Additional costs of the "Plusenergiehaus" compared to the German standard EnEV 2009



Rys. 21. Dodatkowe koszty projektu zgodnego z wymaganiami "Dom Efektywny Plus"

Fig. 21. Additional costs based on German EnEV 2009

nie kosztorysu. Zakres dodatkowych kosztów wynikających ze standardów stawianych przez sieć „Dom Efektywny Plus” jest tego samego rzędu co koszty związane z wymaganiami normowymi. Dodatkowe koszty domu M1 porównane do wymagań kosztorysu spełniającego wymagania EnEV 2009 przedstawiono na Rys. 21. Dodatkowy koszt uzyskania zamierzonej izolacyjności elewacji i dachu to 12000 €. Jest to stosunkowo mała suma w porównaniu do dodatkowych kosztów utrzymania budynku. Dalszy rozwój i dostosowywanie konkretnych rozwiązań powinno pozwolić na zmniejszenie dodatkowych kosztów wynoszących około 490 €/m<sup>2</sup> powierzchni użytkowej o około połowę. Dalsze obniżanie wartości współczynnika U nie wydaje się mieć sensu ze względu na to, że nie prowadzi to do obniżenia kosztów.

### 4. Podsumowanie

W ostatnich dekadach powszechną i sprawdzoną praktyką stało się wznoszenie domów o małym zapotrzebowaniu na energię, czy nawet ujemnym bilansie energetycznym metodami stosowanymi w konstrukcjach masowych. Konstrukcje masowe były czynnikiem napędowym, który nie może być ignorowany, jeśli chodzi o rozwój domów energooszczędnego. Przydatność ścian jednowarstwowych jako elementów przenoszących obciążenia a jednocześnie pełniących funkcję przegród chroniących przed ogniem, hałasem i wilgocią była kwestionowana, ponieważ nie miały one dodatkowej ochrony w postaci warstwy izolacyjnej. Wątpliwości te stały się większe niż kiedykolwiek w momencie gdy rozpoczęły się prace nad domami zeroenergetycznymi. Wielokrotnie okazywało się

### 4. Summary

The building of houses with low energy consumption or even a negative energy balance with the massive building construction methods commonly used in Europe has been a usual and acknowledged practice for some decades. Massive building construction was a driving factor that could not be ignored in the first attempts toward low-energy houses. Monolithic external walls, which undertake the tasks both of bearing the loads and of resisting fire, and keeping noise and vapour out of the interior rooms, were particularly challenged, since they were to do without outside “assistance” in the form of insulation layers. This challenge seems greater than ever with the path to zero-energy buildings in Europe. It has been demonstrated on many “beacon” projects that even extreme requirements do not have to mean the end of monolithic construction and certainly not of massive construction, given the right building services technology. The presented building projects are only a few, more are being added daily. Nonetheless, a critical note about the developing principle seems justified. Independent of the demand to always keep an eye on the economic benefit of a measure, some developments seem suitable to change the monolithic approach in European building to a background to be fulfilled alone with insulation to facades or in constructions. The projects presented in this article should also deliver sufficient arguments to permit the existing range of technology to still act in an unrestrained manner instead of restricting it.

jednak, że przy doborze odpowiedniej technologii nawet projekty o ekstremalnych wymaganiach nie oznaczały końca zastosowania konstrukcji monolitycznych a z pewnością nie konstrukcji masywnych. Przedstawione projekty to tylko kilka wybranych. Każdego dnia pojawiają się nowe. Zaprezentowane w artykule projekty powinny dostarczyć argumentów za pozostawieniem obecnej swobody w doborze technologii zamiast jej ograniczania.

## Literatura / References

1. Institut für Wohnen und Umwelt GmbH: Eine Geschichte der Niedrigenergiehäuser bis zum Passivhaus, Darmstadt 1996.
2. Wege zum Effizienzhaus Plus, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) 11055 Berlin, 3. Auflage, Juni 2014.
3. H.D. Hegner, T. Schoch, Zukunftssicher bauen - wie die Energiewende das Bauen verändert; Mauerwerk-Kalender 2013; Verlag Ernst und Sohn, Berlin 2013.
4. <http://www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/modellvorhaben/effizienzhaus-plus-wohnbauten>, [21.06.2017; 10.00].
5. T. Schoch, C. Block, Das M1 Energieeffizienzhaus Plus, Das Mauerwerk, **17**, 64-76 (2013).
6. T. Schoch, The M1 energy-plus masonry house, Das Mauerwerk, **18** 118-138 (2014).