

Jakub JURA, Małgorzata ULEWICZ

Politechnika Częstochowska

Marianna ŠUŠTIAKOVÁ, Pavol ĎURICA

Uniuersytet w Žylinie

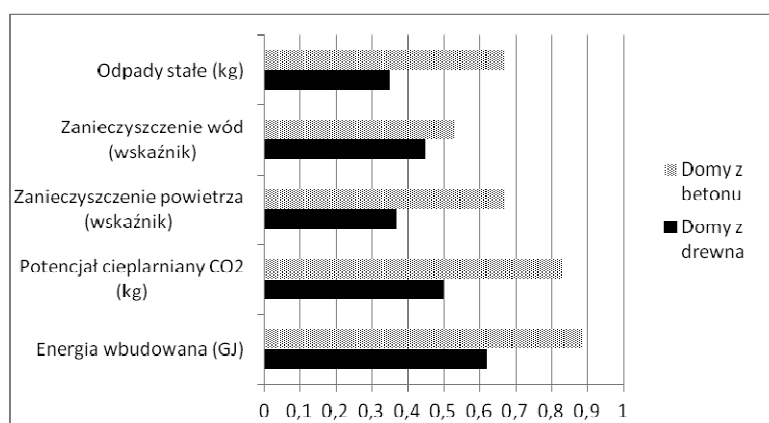
ŚCIANY ZEWNĘTRZNE BUDYNKÓW JEDNORODZINNYCH O KONSTRUKCJI DREWNIANEJ W ASPEKCIE BUDOWNICTWA ENERGOOSZCZĘDNEGO

W artykule scharakteryzowano budynki wykonane z drewna litego oraz o konstrukcji drewnianej. Przedstawiono technologie budowlane bazujące na elementach drewnianych z zastosowaniem nowoczesnych materiałów termoizolacyjnych, które pozwolą na uzyskanie budynków drewnianych o parametrach odpowiadających budynkom energooszczędnym i pasywnym. Analiza różnego typu konstrukcji wykazuje, że optymalnym wariantem drewnianego budynku energooszczędnego i pasywnego jest budynek o lekkiej drewnianej konstrukcji szkieletowej.

Słowa kluczowe: budownictwo drewniane, domy z bali, budynki szkieletowe, domy ryglowe, budownictwo energooszczędne, budownictwo pasywne

WPROWADZENIE

Obecnie z uwagi na duży nacisk na ochronę środowiska oraz oszczędzanie energii powstaje coraz więcej energooszczędnych budynków drewnianych. Są to obiekty wykonane z drewna w całości lub częściowo (drewniana konstrukcja szkieletowa). Zaletą budynków drewnianych jest ich duża efektywność termiczna, która często jest wyższa niż domów murowanych. Głównie dotyczy to budynków wykonanych z bali drewnianych, czyli wzniesionych z pełnego drewna. Budynki drewniane mają pozytywny wpływ na środowisko (rys. 1). Drewno bowiem to surowiec odnawialny, który po skończeniu cyklu życia obiektu można ponownie zagospodarować (w innym celu niż budowlany) lub poddać procesowi odzysku energii (spalanie). Ponadto drzewo podczas przyrostu 1 m³ absorbuje około 1 Mg CO₂, co jest istotne z punktu widzenia ochrony środowiska. Wykorzystywanie drewna w budownictwie jest również uzasadnione z uwagi na niskie koszty jego produkcji oraz przetwarzania. Popyt na drewno wpływa także korzystnie na odnawianie zasobów leśnych. Choć w Europie wycina się rocznie od 50 do 80% powierzchni lasów, to dzięki odpowiedniej polityce leśnej obszar zalesiony powiększa się z roku na rok [1-3].



Rys. 1. Wpływ na środowisko domów wznoszonych z betonu oraz drewna [1]

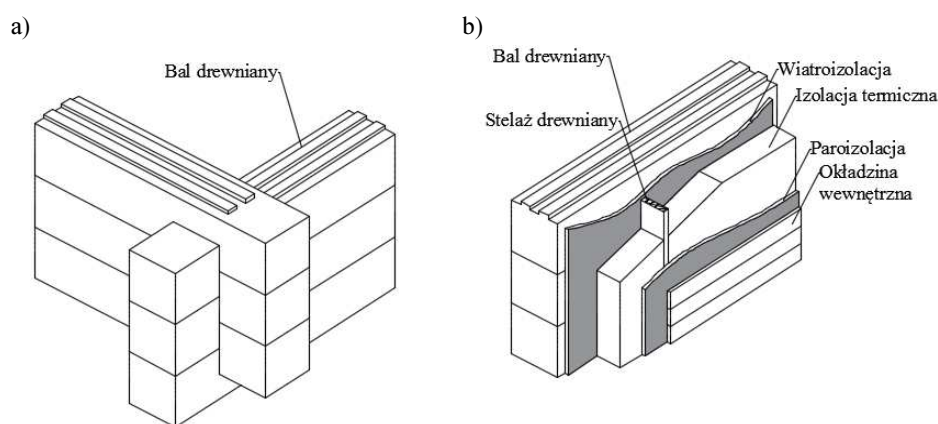
W artykule przedstawiono przykłady wykorzystania drewna jako materiału konstrukcyjnego w budynkach mieszkalnych. Pierwszy to budynki, których ściany zewnętrzne wykonane są z litego drewna, czyli budynki z bali. Kolejne rodzaje to budynki, w których drewniane są głównie elementy konstrukcyjne. Opisano przykłady obiektów o lekkiej konstrukcji szkieletowej, których konstrukcja nośna wypełniona jest termoizolacją, oraz budynków ryglowych przypominających swoim wyglądem „mur pruski”, sięgający historią do średniowiecza.

1. DOMY Z BALI DREWNIANYCH

Tradycyjne domy z bali budowane są poprzez ułożenie bali jeden na drugim lub składanie ich na wrąb. W pierwszym sposobie otwory między balami są wypełniane wiórami albo listwami, a bale są połączone łącznikami. Natomiast drugi sposób budowy odbywa się bez użycia elementów metalowych czy gwoździ. Domy z bali drewnianych, z uwagi na wysokie wymagania dotyczące współczynników przenikania ciepła dla budynków, są coraz rzadziej budowane, gdyż do osiągnięcia wymaganego współczynnika U poniżej $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ grubość ściany musiałaby wynosić około 50 cm. Wykonanie budynku o takiej grubości ścian zewnętrznych jest zbyt drogie, biorąc pod uwagę zużycie drewna. Dlatego coraz częściej podczas wznoszenia budynków z bali wykonywana jest dodatkowa izolacja cieplna. Zastosowanie jej pozwala na osiągnięcie wymaganego przez rozporządzenie [4] współczynnika przenikania ciepła przegrody zewnętrznej $U < 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Wykonanie obiektu z bali o mniejszym przekroju i użycie termoizolacji pozwala uzyskać wysokie wartości współczynnika przenikania ciepła zalecane dla budynków o standardzie energooszczędnym lub pasywnym. Warstwa dociepleniowa stosowana jest od strony wewnętrznej z uwagi na zachowanie bali jako ozdobnej elewacji budynku (rys. 2) [5][6].

W tabeli 1 przedstawiono minimalne grubości dla przegrody zewnętrznej niezbędne do osiągnięcia zalecanych współczynników przenikania ciepła U dla

budynków o określonym standardzie energetycznym. Wszystkie obliczenia zostały wykonane przy użyciu programu ArCADia Termo. Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 1, wzniesienie budynku energooszczędnego i pasywnego możliwe jest po zastosowaniu bali o grubości 20 cm i dodatkowej izolacji o grubościach odpowiednio 10 i 16 cm. Zmianę współczynnika przenikania ciepła dla ściany z bali (rys. 2) w zależności od grubości materiału termoizolacyjnego i jego współczynnika przewodzenia ciepła λ przedstawia rysunek 3 [6-8].



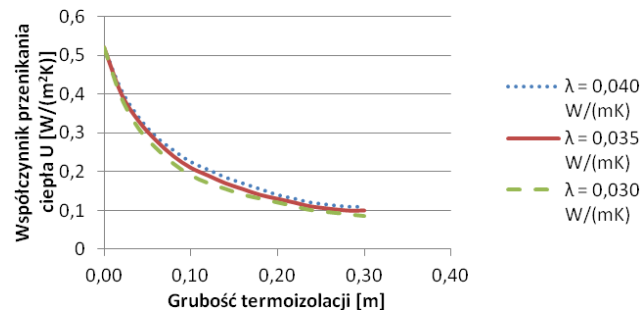
Rys. 2. Porównanie tradycyjnej konstrukcji ścian z bali a) i ścian docieplonych b) [opracowanie własne]

Tabela 1. Porównanie grubości zastosowanych materiałów ścian zewnętrznych dla osiągnięcia określonego standardu budynku [opracowanie własne]

Materiały zastosowane w przegrodzie	Wymagane grubości przegrody zewnętrznej do uzyskania współczynnika U [cm]		
	WT2014 $U < 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	Dom energooszczędny $U < 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	Dom pasywny $U < 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
Bale z drewna litego $\lambda = 0,13 \text{ W}/(\text{m K})$	50	65	85
Termoizolacja $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m K})$	14	18	25
Bale 20 cm + termoizolacja $\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{m K})$	9	12	20
Bale 20 cm + termoizolacja $\lambda = 0,030 \text{ W}/(\text{m K})$	8	10	16

Jako termoizolację można stosować materiały oparte na bazie wełny mineralnej lub szklanej, włóknach celulozowych bądź wełnie drzewnej. Izolację cieplną stanowi jedna warstwa lub wiele warstw. Układanie izolacji odbywa się z pomocą rusztu drewnianego zamocowanego do ściany zewnętrznej. Do wznoszenia budynków mieszkalnych z bali zastosować można bale pełne klejone o dużych średnicach,

bale izolowane, które wymagają dodatkowego ocieplenia, oraz bale warstwowe wypełnione materiałem izolacyjnym.



Rys. 3. Zmiana współczynnika przenikania ciepła dla docieplonej ściany zewnętrznej z bali w zależności od grubości izolacji termicznej i jej współczynnika λ [opracowanie własne]

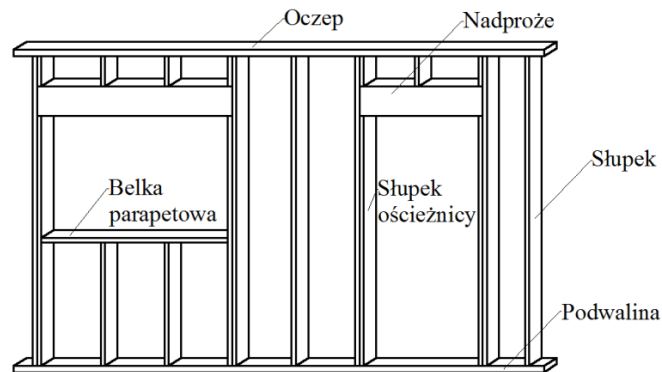
W Polsce energooszczędne budynki z bali nie są popularne, natomiast obiekty tego typu wznoszone są w krajach europejskich, w których panują trudne warunki klimatyczne, tj. Finlandii i Norwegii (rys. 4).



Rys. 4. Dom pasywny z bali wzniesiony w Finlandii [9]

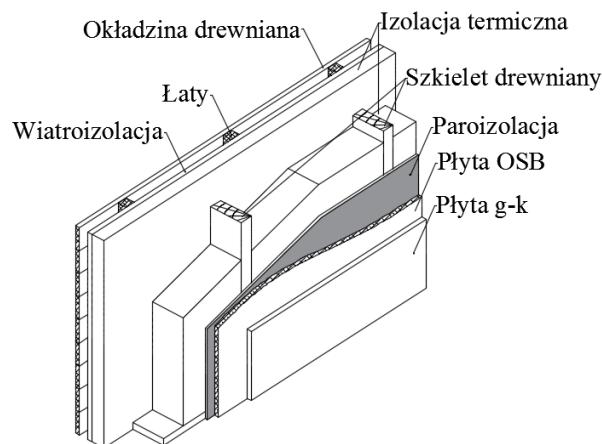
2. DOMY Z LEKKICH SZKIELETÓW DREWNIANYCH

Kolejnym przykładem domu z zastosowaniem drewna jest budynek o konstrukcji szkieletowej. Składa się ona z belek drewnianych tworzących szkielet (rys. 5), który następnie wypełniany jest materiałem termoizolacyjnym. W konstrukcjach tych użyta może zostać również dodatkowa warstwa izolacji termicznej od strony zewnętrznej.



Rys. 5. Układ elementów konstrukcyjnych w drewnianej konstrukcji szkieletowej [opracowanie własne]

Ściany obijane są usztywniającymi płytami OSB (Oriented Strand Board) oraz wykańczane np. płytami kartonowo-gipsowymi (rys. 6). Na elewację budynku wykorzystać można dowolny materiał, np. tynk, płytki elewacyjne, cegły klinkierowe czy oblicówkę drewnianą.



Rys. 6. Przykładowe rozwiązanie ściany zewnętrznej budynku szkieletowego z elewacją z drewna [opracowanie własne]

Dla uzyskania budynku energooszczędnego czy pasywnego o współczynniku przenikania ciepła zgodnym z zalecanymi wartościami 0,20 i 0,15 W/(m² K) (tab. 2), konieczne jest wykorzystanie termoizolacji o większej grubości. W budynkach szkieletowych, w których głównym materiałem mającym wpływ na współczynnik przenikania ciepła jest termoizolacja, konieczne jest zastosowanie termoizolacji o grubości około 14 cm dla budynku energooszczędnego i 19 cm dla pasywnego.

Konstrukcja szkieletowa pozwala na wybudowanie lekkiego budynku, który mimo małej masy dobrze tłumí dźwięki. W budynku łatwe jest rozprowadzanie instalacji elektrycznej i ogrzewania. W tego typu obiekcie nie ma konieczności sto-

sowania przerw technologicznych, co pozwala na szybsze wykończenie budynku w porównaniu do domu murowanego. Wybudowanie takiego domu jest dużo mniej pracochłonne od wznoszenia budynku z bali czy tradycyjnego obiektu murowanego, natomiast potrzebna jest odpowiednia wiedza, doświadczenie i staranność [1, 10, 11].

Tabela 2. Porównanie grubości termoizolacji ścian zewnętrznych dla osiągnięcia określonego standardu budynku [opracowanie własne]

Elementy konstrukcji	Wymagane grubości przegrody zewnętrznej do uzyskania współczynnika U [cm]		
	WT2014 $U < 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	Dom energooszczędny $U < 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	Dom pasywny $U < 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
Ściana zewnętrzna w konstrukcji szkieletowej (rys. 6). Termoizolacja o $\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{m K})$	15	18	24
Ściana zewnętrzna w konstrukcji szkieletowej (rys. 6). Termoizolacja o $\lambda = 0,030 \text{ W}/(\text{m K})$	11	14	19

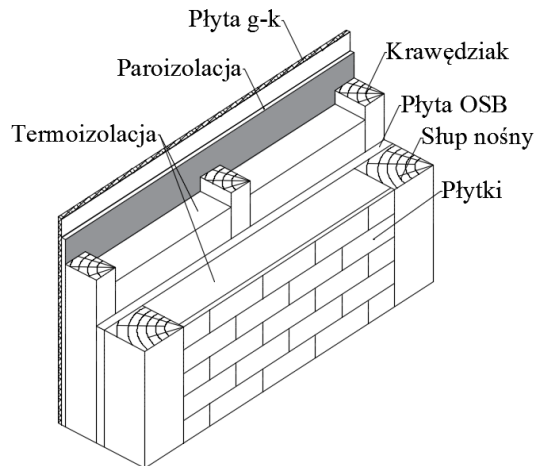
Obecnie budynków energooszczędnych o konstrukcji szkieletowej jest w Polsce więcej niż budynków wykonanych z bali, natomiast niewiele jest budynków pasywnych wykonanych w tej technologii. Jednym z niewielu przykładów może być dom jednorodzinny w Tychowie (rys. 7), który posiada również certyfikat Domu Pasywnego, wydany przez Passivhaus Institut w Darmstadt.



Rys. 7. Dom pasywny w Tychowie [12]

3. DOMY RYGLOWE

Budynki ryglowe są połączeniem drewnianej konstrukcji oraz elementów wypełnionych murem. W tej technologii wznoszone były domy już w średniowieczu. Zasadniczą cechą takich budynków jest możliwość stosowania konstrukcji drewnianej zarówno na zewnątrz, jak i wewnątrz. Z czasem budynki te traciły na popularności, ponieważ posiadały zbyt wysoki współczynnik przenikania ciepła, który przekraczał dozwolone wartości. Obecnie nowe materiały termoizolacyjne pozwalają uzyskać wysoką wartość izolacyjności termicznej przegród zewnętrznych wykonanych w tej technologii oraz są trwałe i efektowne, co powoduje, że ponownie stają się modne (rys. 8).



Rys. 8. Przykładowe rozwiązanie ściany ryglowej [opracowanie własne]

Tradycyjny dom ryglowy był budowany na bazie drewnianego szkieletu (konstrukcja nośna), składającego się z belek o przekroju 14 lub 16 cm. Przestrzeń pomiędzy szkieletem, dla ustabilizowania oraz usztywnienia, była wypełniana murem. Wykonywano także trójkątne kratowanie, charakterystyczne dla domu ryglowego. Obecnie konstruktorzy zamiast muru wybierają najczęściej panele lub płytki go imitujące, co pozwala na wykorzystanie grubej warstwy izolacji termicznej i uzyskanie współczynników przenikania ciepła niższych niż $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Dodatkowa warstwa termoizolacyjna daje możliwość zmniejszenia współczynnika przenikania ciepła nawet do wartości pozwalających uzyskać budynek energooszczędny czy pasywny. Z obliczeń współczynnika przenikania ciepła dla ściany ryglowej, w której materiał termoizolacyjny o $\lambda = 0,030 \text{ W}/(\text{m K})$ znajduje się jedynie między słupami nośnymi grubości 14 cm, osiągnięte zostało $U = 0,32 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. W budynkach ryglowych dla przyjętej podstawowej termoizolacji 13 cm, znajdującej się między słupami nośnymi, wartości współczynnika U budynków energooszczędnego i pasywnego można uzyskać poprzez dodanie 8 lub 13 cm izolacji o $\lambda = 0,030 \text{ W}/(\text{m K})$. W tabeli 3 zamieszczono wartości dodatkowej grubości

warstwy izolacji termicznej, pozwalające na wzniesienie ścian o współczynnikach U zalecanych dla budynków energooszczędnych i pasywnych.

Tabela 3. Porównanie dodatkowej grubości termoizolacji ścian ryglowych dla osiągnięcia określonego standardu budynku [opracowanie własne]

Elementy konstrukcji	Wymagane grubości przegrody zewnętrznej do uzyskania współczynnika U [cm]		
	WT2014 $U < 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	Dom energooszczędny $U < 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	Dom pasywny $U < 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
Ściana zewnętrzna w konstrukcji ryglowej (rys. 8). Termoizolacja o $\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{m K})$	6	9	16
Ściana zewnętrzna w konstrukcji ryglowej (rys. 8). Termoizolacja o $\lambda = 0,030 \text{ W}/(\text{m K})$	4	8	13

W konstrukcji ścian ryglowych dodatkowo wykorzystywane są płyty drewniane przepuszczające powietrze, co dobrze wpływa na właściwości wilgotnościowe ścian. Termoizolacja zabezpieczona powinna być również folią paroprzepuszczalną oraz paroizolacją. Konstrukcja drewniana powinna być wykonana z drewna o odpowiedniej jakości, poddanego ciśnieniowej impregnacji, najlepiej sprawdza się drewno świerkowe. Domy te charakteryzują się krótkim czasem budowy dzięki zastosowaniu gotowych elementów. Zaletą takich budynków jest możliwość budowania ich o dowolnej porze roku. Od warunków pogodowych zależy jedynie możliwość wykonania fundamentów, a lekka konstrukcja nie ma dużych wymagań dotyczących podłoża [1, 2, 13].

PODSUMOWANIE

Przedstawiona w artykule analiza wykazuje, że możliwe jest wykonanie obiektu energooszczędnego lub pasywnego o drewnianej konstrukcji ścian. Dzięki nowoczesnym materiałom oraz technologiom opartym na tradycji zastosowanie termoizolacji o odpowiedniej grubości pozwoli na uzyskanie współczynników przenikania ciepła zalecanych dla budynków energooszczędnych i pasywnych. Nie jest możliwe wzniesienie budynku energooszczędnego ani pasywnego za pomocą samych bali drewnianych, ponieważ wiązałoby się to z zastosowaniem bali o grubości odpowiednio 65 i 85 cm. Optymalnym wariantem wydaje się budynek szkieletowy z uwagi na zastosowanie gotowych już szkieletów drewnianych, wypełnianych następnie termoizolacją. Pozwala to na wybudowanie domu drewnianego w najszybszy sposób, a także nie naraża inwestora na dodatkowe koszty wynikające z zastosowania dużej ilości drewna. Wielu inwestorów wybierze również

budynki z bali oraz ryglowe z uwagi na ich niepowtarzalne walory wizualne, mimo dłuższego czasu wznoszenia oraz wyższych kosztów wykonania.

LITERATURA

- [1] Stowarzyszenie Domów Drewnianych - www.domydrewniane.org
- [2] Szymanowska-Gwiżdż A., Drewniane budownictwo mieszkalne i gospodarcze wsi Górnego Śląska, Wiadomości Konserwatorskie 2003, 13, 25-39.
- [3] Audenaert A., De Cleyn S.H., Vankerckhove B., Economic analysis of passive houses and low-energy houses compared with standard houses, Energy Policy 2008, 36, 47-55.
- [4] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, DzU 2013, poz. 926.
- [5] Jura J., Šušťaková M., Ďurica P., Ulewicz M., Comparative analysis of energy certification in Poland and Slovakia, Advanced Materials Research 2014, 1020, 529-533.
- [6] Major I., Różycka J., Współczesne domy drewniane - budynki o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym 2014, 1(13), 63-70.
- [7] Jura J., Wpływ budynków zeroenergetycznych i plusenergetycznych na emisyjność, Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym 2014, 1(13), 33-40.
- [8] Lis A., Dostosowanie izolacyjności termicznej przegród do nowych warunków technicznych, Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym 2014, 1(13), 55-62.
- [9] Eco House - www.eco-house.co.il
- [10] Štúňová M., Ďurica P., The course of temperatures in construction of lightweight external wall in stationary conditions of the internal environment and the actual conditions of outdoor climate, Conference XXII Russian - Slovak - Polish Seminar, Žilina 2013.
- [11] Debal s.c. - www.debal.pl
- [12] Polski Instytut Budownictwa Pasywnego i Energii Odnawialnej - www.pibp.pl
- [13] Dietrich's - www.dietrichs.com

EXTERNAL WALLS OF TIMBER-FRAMED SINGLE-FAMILY HOUSES IN THE ASPECT OF ENERGY EFFICIENT CIVIL ENGINEERING

In the paper there were characterized log buildings and skeletal wooden buildings. Presented building technologies are based on the wooden elements. We discussed the use of modern insulating materials in wooden buildings and presented technologies that allow to build wooden buildings with parameters for energy efficient and passive buildings. The analysis shows that the optimal variant for wooden energy efficient and passive building is construction based on a lightweight timber frame.

Keywords: wood buildings, log homes, skeletal buildings, half-timbered houses, energy-efficient building, passive buildings