

dr hab. inż. arch. Joanna Gil-Mastalerczyk, prof. PŚk^{1*)}

ORCID: 0000-0002-6904-7304

mgr inż. arch. Kinga Kraska¹⁾

ORCID: 0000-0003-0540-324X

Promieniowanie słoneczne – istotny element w procesie projektowania domu pasywnego w Polsce

Solar radiation – a vital element in passive house design in Poland

DOI: 10.15199/33.2023.07.03

Streszczenie. Znaczące zmiany klimatu obserwowane na przestrzeni ostatnich dekad oddziałują na politykę energetyczną Unii Europejskiej. Natomiast obecny światowy kryzys energetyczny, związany z ograniczeniem dostaw surowców kopalnianych z Rosji, gwałtownie przyspieszył konieczność wprowadzenia czystej, zrównoważonej energii odnawialnej, ze względu na zwiększające się ceny energii i paliw stałych. Z tych względów ważnym elementem transformacji energetycznej staje się próba ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do atmosfery dzięki zielonej energii. Celem artykułu jest określenie ogólnych wytycznych projektowych dotyczących budynków pasywnych oraz analiza – na etapie projektu koncepcyjnego – czynników wpływających na poziom zysków energetycznych.

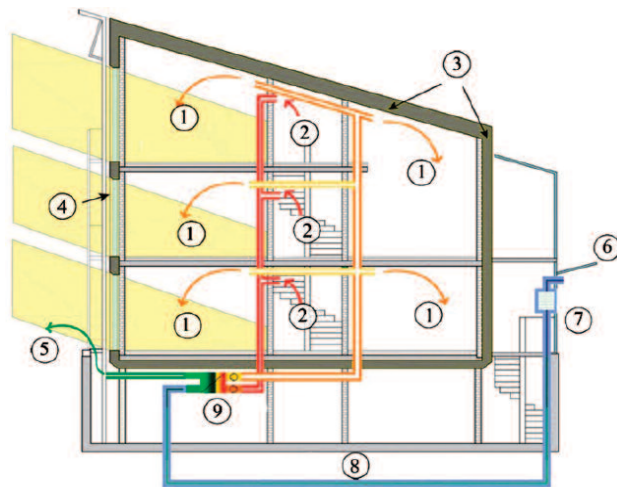
Słowa kluczowe: energia słoneczna; budownictwo pasywne; dom słoneczny; energooszczędność; orientacja budynku energooszczędnego.

Abstract. The significant climate changes observed in the last few decades have a significant impact on the energy policy of the European Union. The current global energy crisis connected with the restricted supply of fossil minerals from Russia has increased the urgency of the need to introduce clean, sustainable renewable energy due to the rising prices of energy and solid fuels. That is why attempts at reducing greenhouse gas emissions into the atmosphere using green energy have become an important part of the energy transformation. The purpose of the article is to provide general design guidelines for passive buildings and analyse the factors that affect the energy gains at the stage of conceptual design.

Keywords: solar energy; passive buildings; solar house; energy efficiency; energy-efficient building orientation.

Kryzys energetyczny wywołany sytuacją geopolityczną i sukcesywnie zmniejszającymi się złożami zasobów paliw stałych wpływa na coraz większe zainteresowanie budownictwem energooszczędnym i pasywnym. Zmiany klimatu obserwowane na przestrzeni ostatnich dekad mają duży wpływ na politykę energetyczną Unii Europejskiej. Natomiast obecny światowy kryzys energetyczny związany z ograniczeniem dostaw surowców kopalnianych z Rosji gwałtownie przyspieszył konieczność wprowadzenia czystej, zrównoważonej energii odnawialnej, ze względu na zwiększające się ceny energii i paliw stałych. Z tych względów ważnym elementem transformacji energetycznej staje się próba ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do atmosfery dzięki zielonej energii.

Zgodnie z koncepcją budownictwa pasywnego, powstałą w 1988 r. w Darmstadt w Niemczech, której autorem jest dr Wolfgang Feist – założyciel Instytutu Domu Pasywnego „Passivhaus Institut”, „dom pasywny” jest obiektem o małym zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania pomieszczeń (rysunek 1). Ciepło w pomieszczeniach zapewnione jest przez wiele źródeł, do których należą m.in. ciepło oddawane z urządzeń elektrycznych, ciepło słoneczne, ciepło mieszkańców czy ciepło odzyskiwane z wentylacji (pasywne źródła ciepła). Domy



Rys. 1. Dom pasywny w Darmstadt Kranichstein, schemat wykorzystywania energii, szczelności budynku i wentylacji: 1 – nawiew; 2 – wywiew; 3 – izolacja; 4 – trzyszybowe oszklenie ciepłochronne; 5 – usuwane powietrze; 6 – świeże powietrze; 7 – filtr świeżego powietrza; 8 – gruntowy wymiennik ciepła; 9 – wymiennik ciepła [8]

Fig. 1. A passive house in Darmstadt Kranichstein, diagram of energy consumption, insulation and ventilation: 1 – supply air; 2 – exhaust air; 3 – super-insulation; 4 – 3-pane low-e glazing; 5 – removed air; 6 – fresh air; 7 – fresh air filter; 8 – subsoil heat exchanger; 9 – air-to-air heat exchanger [8]

¹⁾ Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Architektury

^{*)} Adres do korespondencji: jmastalerczyk@tu.kielce.pl

budowane w systemie pasywnym wykorzystują energię z promieniowania słonecznego dzięki odpowiedniej orientacji względem stron świata, uwarunkowaniom terenu i zasobom zieleni itp. [1].

Celem artykułu jest określenie ogólnych wytycznych do projektowania budynków pasywnych oraz analiza – na etapie projektu koncepcyjnego – czynników wpływających na poziom zysków energetycznych.

Stan badań

Tematyka światła (promieniowania) słonecznego stanowi obszerną dziedzinę uwzględniającą wiele ważnych aspektów projektowych, do których należą, oprócz kwestii funkcjonalnych i estetycznych, zagadnienia odnoszące się do procesów biologicznych [2]. Z tych względów promieniowanie słoneczne niewątpliwie odgrywa ważną rolę w wielu dziedzinach życia, ale szczególne znaczenie ma w architekturze przy zapewnieniu optymalnych warunków do życia i funkcjonowania człowieka. W wielu źródłach literaturowych o tematyce związanej z domami o małym zapotrzebowaniu energetycznym autorzy określają je jako domy energooszczędne i pasywne, nazywane też przez projektantów jako „zeroenergetyczne” Ze względu na zmiany klimatyczne, a także kryzys energetyczny, budownictwo pasywne poddawane jest globalnym analizom. Liczne badania obejmowały analizę energooszczędności w aspekcie utrzymania standardu domu pasywnego [3]. Bader Alshurairan [4], przeanalizował najistotniejsze technologie energii odnawialnej w budownictwie w krajach zależnych od paliw stałych na przykładzie Kuwejtu. W wyniku badań zaproponował wprowadzanie energooszczędnych systemów m.in. fotowoltaiczno-wiatrowych, które przyniosą oszczędności w sektorze budowlanym na poziomie 39 – 42% do 2030 r. i 48 – 53% do 2040 r.

W 2014 r. w Wielkiej Brytanii zapoczątkowano badania mające na celu zrozumienie barier i mechanizmów, wpływających na wdrażanie projektowania niskoenergetycznego [5]. Zdaniem autorów tych badań, główną barierę wprowadzania rozwiązań pasywnych stanowią trudności napotykane na etapie pracy z klientem, takie jak: brak powszechnego dostępu do wiedzy, mała świadomość klientów, a także polityka energetyczna kraju. W 2021 r. przeprowadzono badania w Polsce, Niemczech, Francji i we Włoszech, których celem było określenie, w jakim stopniu wiedza o źródłach energii, w tym alternatywnych, zwiększa zaufanie konsumentów i zarządzanie energią w ich gospodarstwach domowych. Niestety aktualnie posiadana wiedza usługobiorców pochodzi często z niezrzetelnych źródeł, takich jak media społecznościowe, fora internetowe. Na podstawie wyników badań odnotowano niski poziom wiedzy i świadomości ekologicznej [6], a także niski poziom wiedzy społeczeństwa w dziedzinie budownictwa energooszczędnego. Brak usystematyzowanej i łatwo dostępnej wiedzy powoduje niechęć konsumentów do tego typu rozwiązań, które należy wprowadzać już na etapie projektu koncepcyjnego domu.

Ogólną definicję budynku pasywnego wyznacza ilość energii niezbędnej do jego ogrzania na jednostkę powierzchni na rok (kWh/m²/rok). W tabeli 1 zestawiono parametry dwóch budynków: pasywnego i niemal zeroenergetycznego. W Polsce wprowadzono nowe, bardziej restrykcyjne zasady dotyczące budynków wznoszonych po 2021 r. Zostały one zawar-

Tabela 1. Porównanie domów jednorodzinnych o różnym standardzie energetycznym [7]

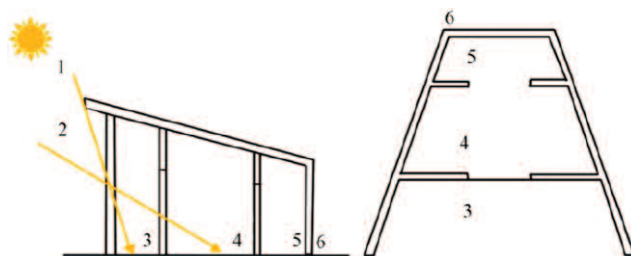
Table 1. Compare detached house with different energy standard [7]

Wyszczególnienie	Budynek niemal zeroenergetyczny	Budynek pasywny
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową EU [kWh/(m ² /rok)]	–	15
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną, który uwzględnia również urządzenia użytkownikowi [kWh/(m ² /rok)]	70	120

te w znowelizowanym rozporządzeniu [9], zgodnie z wytycznymi zaktualizowanej wersji dyrektywy Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), która zobowiązała państwa członkowskie UE do określenia standardu budynków o niemal zerowym zużyciu energii (europejski standard nZEB) [10]. Projekt takiego budynku wymaga kompleksowych rozwiązań projektowych, konstrukcyjnych i instalacyjnych. Prawo nakłada na inwestorów specjalne wymagania i przepisy zawarte w ustawach: o OZE (odnawialne źródła energii), charakterystyce energetycznej oraz efektywności energetycznej. Nowe wymagania znajdują się również w Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [9], których nowelizacja z 2014, 2017 i 2021 r. (tzw. WT 2014, WT 2017, WT 2021) wprowadziła bardziej rygorystyczne wymagania dotyczące izolacyjności cieplnej przegród oraz redukcji nieodnawialnej energii pierwotnej, jaką będzie można zużywać [11].

Orientacja względem stron świata – układ pomieszczeń i sytuowanie budynku na działce

Człowiek od wieków zastanawiał się nad praktycznym wykorzystywaniem słońca zarówno do celów użytkowych, jak i ideowych, ale również nad ochroną przed nim, szczególnie promieniowaniem i ośnieniem. Już w starożytności filozof Sokrates (496 – 399 r. p.n.e.) dokonywał analiz położenia słońca w okresie letnim i zimowym oraz stworzył ideę tzw. domu słonecznego (rysunek 2). Dom ten miał maksymalnie wykorzystywać promienie słoneczne zimą i ochraniać domowników od promieniowania bezpośredniego w lecie [12].



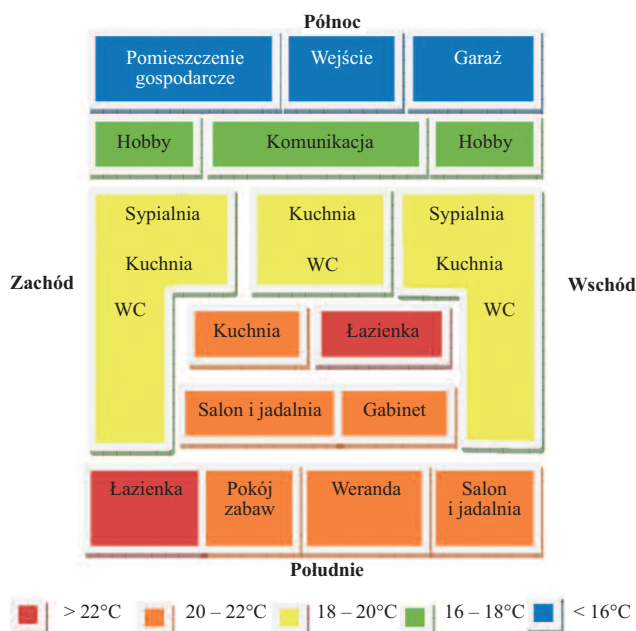
Rys. 2. Koncepcja domu słonecznego wg Sokratesa: 1 – promieniowanie słoneczne na elewację południową w lecie; 2 – promieniowanie słoneczne na elewację południową w zimie; 3 – zadaszony taras; 4 – pomieszczenia mieszkalne; 5 – magazyn; 6 – północna ściana izolująca

Opracowanie: Autorki na podstawie [12]
Fig. 2. Solar house concept according to Socrates: 1 – solar radiation on the southern facade in the summer; 2 – solar radiation on the southern facade in the winter; 3 – covered terrace; 4 – living quarters; 5 – storage area; 6 – insulating northern wall

Drawing by the Authors based on [12]

Współcześnie, w dobie rozwoju technologii budowlanych opartych na szczegółowych analizach komputerowych z doбором odpowiednich materiałów zapewniających właściwą dystrybucję światła, system pasywnego pozyskiwania ciepła z energii słonecznej wciąż jest najprostszym i najtańszym sposobem zaopatrzenia w ciepło. W związku z tym, że energia słoneczna jest różna w zależności od pory roku oraz pogody, kluczowa staje się orientacja pomieszczeń względem stron świata. Z tego względu w budynkach o małym zapotrzebowaniu na energię należy już na etapie procesu projektowego przeanalizować układ pomieszczeń względem stron świata, ponieważ daje to wiele korzyści i ma zasadniczy wpływ na czas nasłonecznienia wnętrza. Przemysłowy projekt domu będzie miał odzwierciedlenie w poziomie zużycia energii do ogrzewania pomieszczeń.

Nowoczesne metody analityczne i projektowe pozwalają na precyzyjne rozplanowanie usytuowania obiektu na działce. Pierwszym etapem projektu domu pasywnego jest odpowiedni podział pomieszczeń ze względu na nasłonecznienie i właściwą temperaturę. Zależność tę przedstawiono na rysunku 3, pokazującym rozmieszczenie pomieszczeń względem stron świata.



Rys. 3. Rozmieszczenie pomieszczeń względem stron świata

Opracowanie: Autorki

Fig. 3. Layout of premises relative to cardinal directions

Drawing prepared by the Authors

Strona północna. W strefie klimatycznej, w jakiej znajduje się Polska, temperatura w pomieszczeniach w północnej części budynku jest najniższa. Do elewacji północnej dociera bowiem najmniej promieni słonecznych, co wpływa na zmniejszoną ilość naturalnego światła i niższą temperaturę niż w przypadku pozostałej części obiektu. Zgodnie z wytycznymi projektowymi dotyczącymi domów pasywnych, po stronie północnej umieszcza się najczęściej takie pomieszczenia, jak: garaż, strefa wejściowa, garderoba, spiżarnia, pomieszczenia gospodarcze itp. Ta część domu powinna stanowić strefę buforową złożoną z pomieszczeń niewymagają-

cych ogrzania, tworząc tym samym naturalną termoizolację pozostałych pomieszczeń. Charakteryzuje je temperatura na poziomie 16°C.

Strona południowa budynku jest najlepiej doświetlona i w efekcie najcieplejsza, dlatego powinny znajdować się tu pomieszczenia, w których mieszkańcy w ciągu dnia przebywają najczęściej. Należą do nich: pokój dzienny; pokój zabaw; gabinet; jadalnia. W takich pomieszczeniach temperatura będzie utrzymywać się na poziomie 20 – 22°C.

Strona zachodnia. W tej części domu zaleca się projektowanie sypialni, kuchni czy łazienki. Należy także zwrócić uwagę na narożnik południowo-zachodni, który jest najcieplejszą częścią domu. W okresie letnim może to być problem dla mieszkańców, dlatego korzystnym rozwiązaniem jest umiejscowienie w tej części pomieszczeń, w których zalecana jest wyższa temperatura, jak np. łazienka. Ponadto na poddaszach użytkowych ulokowanie sypialni od strony zachodniej może okazać się uciążliwe. Latem wysoka temperatura pomieszczeń utrzymuje się do późnych godzin nocnych, co może być przyczyną problemów z zasypianiem. Sypialnie rozmieszczone po stronie zachodniej są ciemniejsze w godzinach porannych niż sypialnie umieszczone po wschodniej stronie, ale duża ilość promieni słonecznych przy przebudzeniu może wpływać na dyskomfort osób wrażliwych na światło.

Strona wschodnia. We wschodniej części budynku umieszcza się pomieszczenia użytkowe analogicznie jak do strony zachodniej, a więc: sypialnię, kuchnię, toaletę. Projektując w tej części budynku pokoje z funkcją sypialni, należy wziąć pod uwagę słońce pojawiające się tam dużo wcześniej niż w pozostałej części domu. Dobrze sprawdzą się tu również pokoje dzieci. Należy podkreślić, że otwarte przestrzenie będą pozytywnie wpływać na równomierne rozprowadzanie ciepła, natomiast planowanie tradycyjnych, wydzielonych pomieszczeń od strony wschodniej może powodować ich przegrzanie w części południowej przy jednoczesnej konieczności dodatkowego ogrzewania części północnej.

Projekt zagospodarowania działki to ważny aspekt w procesie projektowym. Poprawnie usytuowany dom pasywny powinien mieć dużą liczbę okien od strony południowej. W polskich warunkach klimatycznych odchylenie od zalecanego południowego kierunku może sięgać 20°, nie wpływając przy tym na bilans termiczny budynku. W celu zapewnienia korzystnego pełnego nasłonecznienia ściany południowej należy również pamiętać o zachowaniu odpowiedniej odległości od istniejącej zabudowy, ze względu na zacienienie. Długość cienia rzucanego w południe słoneczne przez obiekty o wysokości 5 m wynosi na terenie płaskim w przybliżeniu: 21 grudnia – 19 m; 21 stycznia – 15 m; 21 marca – 10 m, natomiast przez obiekty o wysokości 10 m analogicznie 38 m, 31 m, 19 m [12]. Nachylenie terenu i kierunek zbocza mają również duży wpływ na ilość docierających tam promieni słonecznych. Najkorzystniejsza okaże się wystawa zbocza południowego oraz południowo-wschodniego i południowo-zachodniego. Do działek znajdujących się na stoku dociera nie tylko większa ilość promieniowania słonecznego, ale również krótsze są cienie rzucane przez sąsiednie budynki i obiekty.

Wielkość przeszkleń i konstrukcja okien

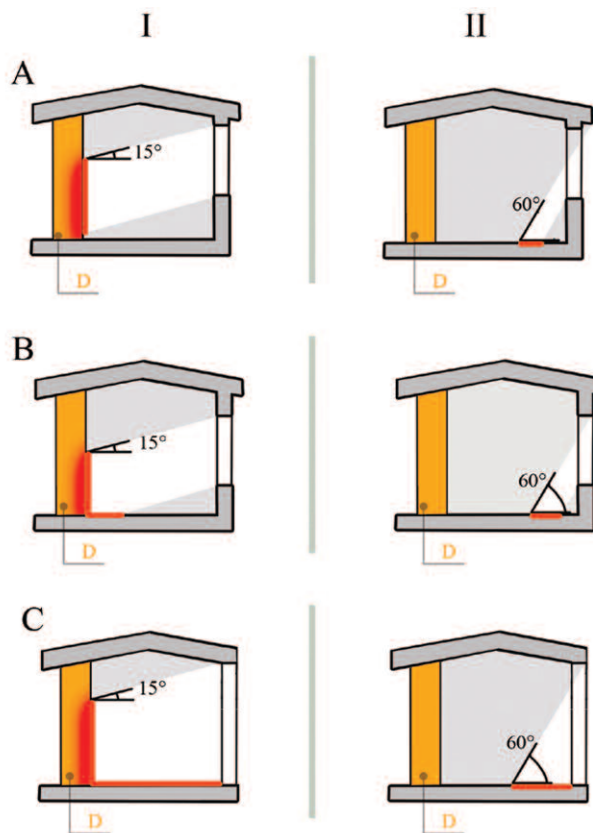
Z obserwacji pozornego ruchu Słońca w szerokościach geograficznych naszego kraju ($50^{\circ} - 54^{\circ}\text{N}$) wynika, że przemieszcza się ono ze wschodu na zachód, a długość drogi i wielkość łuku zależy od pory roku. Wysokością Słońca nazywamy kąt pomiędzy promieniami słońca a płaszczyzną horyzontu. O wschodzie wysokość ta wynosi 0° , a w południe jest uwarunkowana od pory roku, dnia i szerokości geograficznej [12]. W tabeli 2 przedstawiono wysokość Słońca nad horyzontem w słoneczne południe w przypadku Polski.

Tabela 2. Wysokość Słońca nad horyzontem w słoneczne południe [°] Źródło [12]
 Table 2. Sun altitude above the horizon at solar noon Source [12]

Szerokość geograficzna N	Zima 21 XII	Wiosna i jesień 21 III, 23 IX	Lato 21 VI
50°	16,6	40,1	63,4
52°	14,6	38,1	61,4
54°	12,6	36,1	59,4

Ważnym elementem procesu projektowego jest odpowiedni dobór okien. Wprowadzane do wnętrza pomieszczeń promieniowanie słoneczne jest bowiem najprostszą formą pasywnego pozyskiwania energii słonecznej. Minimalna powierzchnia okien określona jest przez obowiązujące polskie przepisy. Z warunków technicznych [9] Rozdział 2. Oświetlenie i nasłonecznienie § 57 wynika, że w pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi, stosunek powierzchni okien do powierzchni podłogi powinien wynosić co najmniej 1 : 8. Przepisy te nie odnoszą się jednak do funkcji pomieszczenia czy kierunku elewacji [13]. Zgodnie z założeniami projektowymi budownictwa pasywnego wielkość oszkleń należy powiązać z orientacją budynku w terenie. Najmniejsza liczba okien powinna znajdować się po północnej jego stronie. Okna południowe muszą być większe, ale w okresie letnim może wystąpić problem z przegrzaniem pomieszczeń, natomiast zimą generowane będą większe straty ciepła niż zysk, ze względu na izolacyjność cieplną okien. Okna od strony zachodniej powinny mieć ściśle ograniczoną powierzchnię, ale przepisy obowiązujące w Polsce nie regulują tych kwestii. Z tego względu, w polskim prawie powinny znaleźć się szczegółowe standardy, aby chronić pomieszczenia przed przegrzaniem. Ze względu na problem ocieplania się klimatu można wzorować się na sprawdzonych przepisach innych krajów europejskich, które analizują również problem komfortu termicznego w okresie letnim. Przekłada się on m.in. na aspekt finansowy – wzrost kosztów utrzymania przez konieczność montażu urządzeń do chłodzenia pomieszczeń [13].

Rozwiązaniem technicznym, które pomaga zmniejszyć temperaturę wewnątrz budynku bez klimatyzacji, może być powlekanie szkła przeciwsłoneczne o niskim współczynniku przenikania energii słonecznej. Jest to jednak rozwiązanie kosztowne, stosowane raczej w obiektach użyteczności publicznej. Zastosowano je m.in. w filharmonii w Hamburgu [14]. Mniej kosztownym rozwiązaniem, często proponowanym przez architektów, jest odpowiednie zaprojektowanie okapu znajdującego się nad ścianą z przeszkleniem (rysunek 4). Dobrze sprawdzają się też pergole pełniące również formę zadaszenia zewnętrznego np. nad tarasem, a także inne formy architektoniczne, które ograniczą przegrzewanie się elewacji południowych i zachodnich. Przy projekcie elewacji



Rys. 4. Analiza wpływu wielkości oszkleń i pory roku na zasięg padania promieni słonecznych do wnętrza pomieszczenia: I – zima; II – lato; A – okno osłonięte okapem, umieszczone pod sufitem; B – okno częściowo osłonięte okapem, umieszczone niżej; C – duże okno od podłogi, nieosłonięte okapem; D – ściana akumulacyjna

Opracowanie: Autorki na podstawie [12]

Fig. 4. Analysis of the impact of glazing size and time of year on the extent of solar exposure of the interior: I – Winter; II – Summer; A – Window under an eave, placed under the ceiling; B – Window partially under an eave, placed lower; C – Large window extending from the floor, eaveless; D – accumulation wall

Drawing prepared by the Authors based on [12]

ważna jest analiza zasięgu promieni słonecznych w zależności od pór roku (rysunek 4).

Pod względem charakterystyki cieplnej, miejscem narażonym na największe straty ciepłe w oknach są połączenia ram i oszkleń, ze względu na powstające mostki cieplne. Biorąc pod uwagę korzyści energetyczne, **opłacalne jest projektowanie okien o dużych przeszkleniach, w których ograniczony zostanie podział na oddzielne kwatery**. Zabieg taki pozwoli projektantowi uzyskać duże zyski ciepłe pozyskane z energii słonecznej, przy jednoczesnym zmniejszeniu współczynnika przenikania ciepła okna. Ponadto okna projektowane w domach energooszczędnych muszą być szczelne, przede wszystkim na styku ościeża i ościeżnicy. Nie powinny być również włączane w projekt wentylacji domu, ponieważ musi się ona odbywać przez dobrany system mechanicznej wentylacji nawiewno-wywiewnej.

Przy doborze oszkleń należy brać pod uwagę kąt padania promieni słonecznych na daną powierzchnię. Zimą promienie słoneczne padają pod mniejszym kątem niż w porze letniej, dlatego też ciepło akumuluje się nie tylko na podłodze, ale

również na ścianach. Odpowiednio zaprojektowana lokalizacja okien jest istotna w pozyskaniu energii z promieniowania słonecznego. Zostało to pokazane na rysunku 4.

Z analizy wynika, że:

- **A – okno osłonięte okapem, umieszczone pod sufitem:** w okresie zimowym wszystkie promienie będą docierały do ściany akumulującej ciepło, natomiast latem podłoga będzie się nagrzewać w minimalnym stopniu;

- **B – okno częściowo osłonięte okapem, umieszczone niżej:** zimą nie wszystkie promienie będą docierać do ściany akumulacyjnej. Latem okap nie będzie spełniał swojej funkcji, a podłoga będzie nagrzewała się w większym stopniu;

- **C – duże okno od podłogi, nieosłonięte okapem:** latem możemy spodziewać się nagrzewania podłogi w największym stopniu. W okresie zimowym ściana akumulacyjna nagrzewa się w większym stopniu, ale nie jest to znaczna różnica w porównaniu z przykładem B umieszczenia okna. Niestety zysk ciepła może nie pokrywać się ze stratami spowodowanymi słabą izolacyjnością cieplną okien.

W okresie zimowym słońce operuje nisko, docierając najgłębiej do wnętrza przy oszkleniach od podłogi, nieosłoniętych okapem, natomiast latem wnętrze może się przegrzewać. Przykład ten dotyczy wprawdzie momentu słonecznego południa, ale należy podkreślić, że promieniowanie słoneczne dociera do wnętrza pomieszczeń przez cały dzień. Ze względu na pozorny ruch Słońca i różną jego wysokość, zależnie od pór roku, w chłodnych miesiącach promienie będą docierać do wnętrza od wschodu do zachodu słońca. W okresie ciepłych miesięcy, kiedy azymut wschodów i zachodów słońca jest większy, promienie słoneczne docierają do wnętrza kilka godzin po wschodzie i zanikają jeszcze przed zachodem słońca.

Akumulacja ciepła

Pasywne ogrzewanie pomieszczeń energią słoneczną to nie tylko odpowiednie zaprojektowanie okien. Ważnym elementem w procesie projektowym są również elementy akumulujące ciepło. Rolę taką pełnią masywne przegrody wewnętrzne, w których zostaje zmagazynowane ciepło pozyskiwane przez okna. Jeśli takie elementy nie zostaną uwzględnione w projekcie, ciepło uzyskiwane pasywnie będzie odczuwalne tylko wtedy, gdy świeci słońce. Dobrym rozwiązaniem jest masywna ściana o grubości 20 – 45 cm znajdująca się naprzeciwko przeszklonej elewacji południowej. Elementy takie w ciągu dnia akumulują ciepło i oddają je wieczorem. Zdolność pochłaniania promieniowania zwiększa ciemny kolor przegrody, nawet o 70 – 75% (tabela 3), np. są to ściany w ciemnym kolorze oraz ciemna kamienna podłoga. Porowate i nierówne elementy przyczyniają się do zwiększania powierzchni napromieniowania i różnicowania kątów padania promieni słonecznych, co wpływa na zwiększenie efektywności pochłaniania [12].

Na efektywność elementów akumulujących ma również wpływ pojemność cieplna oraz przewodność cieplna. Przy doborze materiałów projektant powinien wybierać materiały o dużej pojemności cieplnej, przy jednocześnie niskim poziomie przewodności cieplnej, ponieważ oddawanie ciepła powinno być powolne. Pozostałe elementy i powierzchnie w po-

Tabela 3. Współczynnik absorpcji promieniowania słonecznego [12]

Table 3. Solar radiation absorption factor [12]

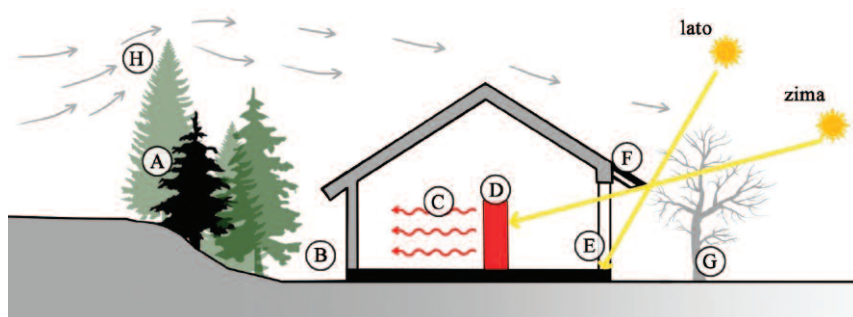
Absorpcja [%]	Materiał
0,98 – 0,95	farba czarna matowa
0,92 – 0,90	farby: ciemnoszara; czarna olejna; ciemnoniebieska; lakiery: czarny; ciemnoniebieski
0,89 – 0,88	farby: oliwkowa; brązowa; ciemnobrązowa; ciemnoniebieska; lakiery: ciemnozielony; błękitny
0,85 – 0,80	farby: brązowa; średniobrązowa, jasnobrązowa
0,79 – 0,78	farba średniordzawa; lakiery: brązowy; zielony
0,75 – 0,74	farby olejne: jasnoszara; czerwona
0,70	farba ceglana
0,65	kolor betonu

mieszczeniu należy projektować w jasnych kolorach, by zwiększyć odbicie i rozproszenie światła. Przy projektowaniu ściany akumulacyjnej musimy brać pod uwagę również odległość od okien południowych, która nie może być większa niż 2,5-krotności wysokości okna [9].

Skuteczniejszym rozwiązaniem technicznym będzie stworzenie przegrody kolektorowo-akumulacyjnej składającej się z tak zwanego rdzenia (monolityczny lub murowany), a także przeszklenia umieszczonego na zewnątrz. Jest to tak zwana ściana Trombe'a. Dzięki przeszkleniu przenikają krótkofalowe wysokoenergetyczne promienie słoneczne, które absorbowane są na powierzchni rdzenia. Aby ograniczyć straty ciepła, należy zaprojektować absorber w bliskiej odległości od przeszklenia [15].

Promieniowanie słoneczne a architektura krajobrazu

Zieleń, przede wszystkim lasy, wpływają na mikroklimat działki, dlatego przy sytuowaniu domu należy zwrócić uwagę na zadrzewienie, które pełni również rolę ochronną przed wiatrem. Prądy powietrza zderzające się z przeszkodą w postaci ściany lasu lub większej grupy drzew, zmniejszają swoją prędkość i zmieniają tor przepływu (rysunek 5). Ważnym elementem w procesie projektowym domu pasywnego jest także właściwie zaprojektowane zagospodarowanie terenu. Przy planowaniu drzew i krzewów, ale również sąsiadującej zabudowy warto zwrócić uwagę, w jaki sposób zacieniają elewację południową w okresie zimowym. Przemyślane i odpowiednio dobrane nasadzenia na działce mogą wpłynąć na regulację promieniowania słonecznego w pomieszczeniach. Drzewa liściaste będą zacieniać latem ok. 90% sąsiadującej przestrzeni, a zimą wartość ta spada do 50%. Analiza projektu zieleni ma duże znaczenie w zapobieganiu przegrzewania się pomieszczeń w południowej i zachodniej części domu. Ponadto nasadzenia pomagają w zmniejszeniu strat cieplnych w budynku, gdyż powodują zmniejszenie siły wiatru. W okresie zimowym przy mroźnych wiatrach po stronie północnej, a także północno-zachodniej i północno-wschodniej, straty ciepła pomogą ograniczyć drzewa iglaste, np. świerki czy nawet tuje. Drzewa posadzone w bliskim sąsiedztwie ścian niwelują również ruch powietrza. Na rysunku 5 przedstawiono autorską propozycję pozyskiwania i wykorzystania zysków słonecznych.



Rys. 5. System pasywnego pozyskiwania energii słonecznej: A – drzewa iglaste osłaniające północną część domu od silnych wiatrów; B – strefa małych ruchów powietrza; C – ciepło oddawane do pomieszczeń ze ściany akumulacyjnej; D – ściana akumulująca promienie słoneczne; E – przeszklenie południowej elewacji; F – okap ochraniający pomieszczenia przed przegrzaniem w lecie; G – drzewa liściaste ochraniające pomieszczenia przed przegrzaniem w lecie; H – prądy powietrza

Fig. 5. System for passive solar energy gain. A – Coniferous trees protecting the northern part of the house against strong winds; B – Area of small air flow; C – Heat released to the premises from the Trombe wall; D – Trombe wall; E – Glazing in the southern facade; F – Eave protecting the premises against overheating in the summer; G – Deciduous trees protecting the premises against overheating in the summer; H – Air currents

Dom autonomiczny w Podzamczu – pierwszy dom pasywny w województwie świętokrzyskim

W 2013 r. w ramach projektu: *Budowa domu autonomicznego w Podzamczu k. Chęcina na potrzeby badania efektywności energetycznej dla rozwoju Regionu Świętokrzyskiego w zakresie specjalizacji Efektywnego Wykorzystania Energii* powstał wyjątkowy dom pasywny w skali Polski. Głównym założeniem pomysłodawców projektu – **Ludomira Dudy, Zofii Wahlberg i Krystyny Bojek** była niezależność energetyczna osiągnięta dzięki nowej technologii i rozwiązaniom projektowym. Obecnie obiekt przeznaczony jest do celów badawczych oraz szkoleniowych i edukacyjnych [16]. Dom został zaprojektowany jako zwarta bryła. Ściany zewnętrzne wykonano z prefabrykatów – 15 cm żelbet, 25 cm styropian. Fundament budynku wykonano w sposób eliminujący mostki termiczne, jako jednolitą płytę żelbetową na izolacji styropianowej. Pod budynkiem wykorzystano grunt na zasobnik ciepła pozyskanego latem przy hybrydowych ogniach fotowoltaicznych. Źródłem ciepła w domu są kolektory słoneczne, ogniwa hybrydowe, gruntowy zasobnik ciepła oraz kominiek z płaszczem wodnym [16].

Pomieszczenia na parterze podzielono na trzy strefy (rysunek 6):

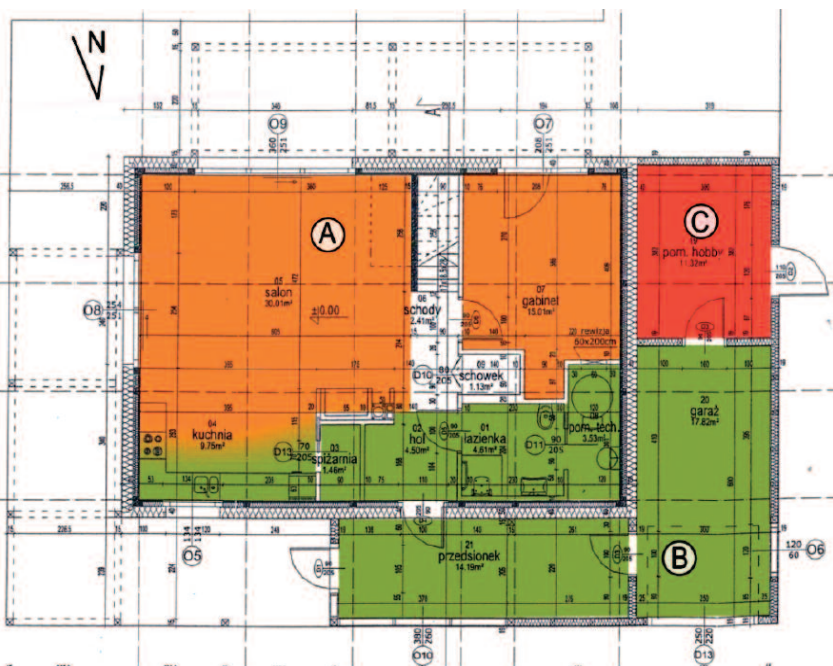
- A – część domu znajdująca się po południowej stronie. W pomieszczeniach tych zamontowano duże okna, dzięki którym wewnątrz ogrzewane jest pasywnie przez promieniowanie sło-

neczne w okresie zimowym. W celu uniknięcia przegrzania pomieszczeń latem zamontowano rolety, a ponadto po południowej i wschodniej stronie budynku zaprojektowano pergolę, która dodatkowo ogranicza negatywne skutki letniego promieniowania. Znajdują się tu salon, gabinet, jadalnia;

- B – część domu znajdująca się po północnej stronie. Jest to tak zwana część buforowa. Zlokalizowano tu pomieszczenia, w których spędza się mniej czasu, przez co nie jest wymagana wysoka temperatura (głównie pomieszczenia techniczne, pomocnicze);

- C – narożnik południowo-zachodni, tj. najcieplejsza część domu. Aby uniknąć przegrzania w okresie letnim, zlokalizowano tam pomieszczenie techniczne, warsztatowe, z którego domownicy nie korzystaliby na co dzień.

Przy projekcie układu pomieszczeń istotną rolę odegrały analizy najdogodniejszej orientacji domu względem stron świata. Przemysłany układ ma odzwierciedlenie w poziomie zużycia energii do ogrzewania, przez nasłonecznienie pomieszczeń. Zaprojektowano duże szklenia w części południowo-wschodniej, dzięki czemu pasywnie pozyskano energię słoneczną w okresie zimowym. Sąsiadująca z domem pergola obniża poziom przegrzewania się pomieszczeń w okresie letnim (fotografia). Odpowiednie dostosowanie



Rys. 6. Analiza podziału pomieszczeń domu w Podzamczu na poziomie parteru

Opracowanie Autorki na podstawie materiałów udostępnionych przez Świętokrzyskie Centrum Innowacji i Transferu Technologii Sp. z o.o., grudzień 2022

Fig. 6. Analysis of the breakdown of premises in the house in Podzamczu on the ground floor level

Prepared by the Author based on the materials provided by Świętokrzyskie Centrum Innowacji i Transferu Technologii Sp. z o.o., December 2022



Dom autonomiczny w Podzamczu k. Chęcina, elewacja północno-wschodnia

*Fot. Autorki
Autonomous house in Podzameczko k. Chęcina, north-eastern facade*

Photo by the Authors

wszystkich opisanych elementów wpływa pozytywnie na efektywność ekonomiczną budynku podczas jego eksploatacji. Powierzchnia domu wynosi 144 m², a jego zapotrzebowanie na energię do ogrzewania 911 kWh/rok [16].

Podsumowanie

Podnoszenie standardów życia, coraz większa świadomość ekologiczna oraz analizy energetyczne sprawiają, że projektowanie domów pasywnych i energooszczędnych jest nieuniknione w wielu krajach europejskich, w tym w Polsce. Ze względu na rosnące ceny energii coraz więcej inwestorów będzie decydować się na taki typ rozwiązań. Niestety, w Polsce wdrażanie budownictwa niskoenergetycznego nadal napotyka wiele trudności, przede wszystkim natury finansowej. W porównaniu z krajami zachodnioeuropejskimi różnica kosztów pomiędzy budownictwem tradycyjnym, spełniającym obecne wymagania, a pasywnym wciąż jest zbyt wysoka. W krajach zachodnich problem ten rozwiązany został za sprawą wysokorozwiniętego własnego zaplecza technologicznego i naukowego, testującego rodzime rozwiązania obniżające koszty produkcji energooszczędnych elementów. W związku z powyższym na tym etapie konieczna staje się rozbudowana współpraca pomiędzy architektami, konstruktorami, instalatorami, producentami oraz inwestorami i deweloperami. Nie mniej istotne staje się inwestowanie w kształcenie wykwalifikowanej kadry i tworzenie wyspecjalizowanego zaplecza laboratoryjnego do prowadzenia badań i testowania nowych rozwiązań z wykorzystaniem polskich produktów.

W polskim prawie budowlanym nie ma przepisów, które regulowałyby problem przegrzewania się pomieszczeń w okresie letnim. Niestety utrzymanie komfortu termicznego w upalne dni często będzie wiązało się z koniecznością montażu urządzeń chłodzących, których zapotrzebowanie na energię może znacznie podwyższyć koszty utrzymania budynku. W niektórych krajach europejskich przepisy wymagają procedury obliczeniowej, która odnosi się do funkcji pomieszczenia, orientacji elewacji, ciężaru konstrukcji, a także stosunku powierzchni okna do powierzchni użytkowej pomieszczeń [12].

Należy podkreślić, że niewielkie koszty związane z odpowiednim zaprojektowaniem budynku oraz zastosowaniem opisanych rozwiązań będą procentować przez cały okres eksploatacji obiektu i przynosić oczekiwane korzyści jego użytkownikom. Tylko kompleksowe planowanie domu pasywnego, uwzględniającego wiele wytycznych projektowych, związanych z rozwiązaniami architektonicznymi, instalacyjnymi, pasywnym pozyskiwaniem energii oraz zabezpieczeniem przed niepotrzebnymi stratami ciepła – wpłynie na wymierne korzyści i wykluczenie nieoczekiwanych błędów.

Literatura

- [1] Sobczyk S, Bracha K. Słoneczne budownictwo pasywne jako alternatywa dla zużycia surowców kopalnych, *Edukacja – Technika – Informatyka*. 2014, 5/1, 335-340.
- [2] Wehle-Strzelecka S. Współczesne technologie pozyskiwania energii słonecznej i ich wpływ na estetykę rozwiązań architektonicznych, *Czasopismo Techniczne*. 2007, 4-A/2007: 313 – 320.
- [3] Waś K, Radóń J, Sadłowska-Sałęga A. Maintenance of Passive House Standard in the Light of Long-Term Study on Energy Use in a Prefabricated Lightweight Passive House in Central Europe. dostępne przez: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/11/2801>, dostęp: 03.01.2023.
- [4] Alshuraiaan B. Renewable Energy Technologies for Energy Efficient Buildings: The Case of Kuwait, dostępne przez: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/15/4440>, dostęp: 03.01.2023.
- [5] Pittsa A. Passive House and Low Energy Buildings: Barriers and Opportunities for Future Development within UK Practice, dostępne przez: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/2/272>, dostęp: 02.01.2023.
- [6] Żywiołek J, Rosak-Szyrocka J, Asghara Khana M, Arsżan Szarif. Trust in Renewable Energy as Part of Energy-Saving Knowledge, dostępne przez: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/4/1566>, dostęp: 02.01.2023
- [7] Górka A. Standard budownictwa pasywnego i jego rozwój w Polsce. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*. 2022; T53 nr 2: 40 – 49.
- [8] Dom pasywny w Darmstadt Kranichstein <https://docplayer.pl/109485092-Dom-pasywny-w-darmstadt-kranichstein.html>, dostęp: 07.11.2022.
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2022 poz. 1225).
- [10] Winnicka-Jasłowska D, Jastrzębska M, Kaczmarczyk J, Łażniewska-Piekarczyk B, Skóra P, Kobiałko B, Kołodziej A, Mól B, Lasyk E, Brzęczek K, Król M. Projekt koncepcyjny domu mieszkalnego opartego na Idei 4E. *Project-based learning realizowany w Politechnice Śląskiej. Builder*. 2023, 2: 12 – 19.
- [11] Jak spełnić wymagania, jakim powinny odpowiadać budynki od 2021 r.? *Ogrzewanie i wentylacja w warunkach technicznych. Poradnik dla architektów, projektantów i inwestorów*. Wyd. Porozumienie Branżowe Na Rzecz Efektywności Energetycznej POBE, luty 2020.
- [12] Kotorska K, Kotorski Z. *Ogrzewanie energią słoneczną*, Wydawnictwo Czasopism i Książek Technicznych NOT-SIGMA, Warszawa 1989.
- [13] Kroner W, Jakubowska P, Noszczyk P. *Ochrona pomieszczeń przed przegrzewaniem w okresie letnim w aspekcie komfortu termicznego*, Materiały Budowlane. 2019, 9: 54 – 56.
- [14] Produkowane przez Guardian Glass szkło tworzy pofalowaną konstrukcję fasady nowej filharmonii w Hamburgu, *Świat Aluminium*, dostępne przez: <https://swiat-aluminium.pl/produkowane-przez-guardian-glass-szklo-tworzy-pofalowana-konstrukcje-fasady-nowej-filharmonii-w-hamburgu/>, 04.05.2023.
- [15] Szyszka J. *Przegrody kolektorowo-akumulacyjne*, *Builder*. 2020; 1: 48 – 51.
- [16] „Budowa domu autonomicznego w Podzamczu k/Chęcina na potrzeby badania efektywności energetycznej dla rozwoju Regionu Świętokrzyskiego w zakresie specjalizacji Efektywnego Wykorzystania Energii” dostępne przez: https://www.it.kielce.pl/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=429&Itemid=798, 05.12.2022.

Przyjęto do druku: 21.06.2023 r.