

Analizy gospodarki obiegu zamkniętego jako element projektowania budynków zrównoważonych ze środowiskiem

Circular economy analysis as an element of environmentally sustainable building design

JAKUB KOSMAŁSKI, KATARZYNA ZWARYCZ-MAKLES, KAROLINA KURTZ-ORECKA

DOI 10.36119/15.2023.1.2

W artykule przedstawiono projekt koncepcyjny budynku mieszkalnego jednorodzinne, spełniającego obowiązujący standard blisko zero-energetyczny (nZEB), w którym w fazie projektowania uwzględniono zasady gospodarki obiegu zamkniętego obejmujące kształtowanie architektoniczne, dobór rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych oraz instalacyjnych.

Słowa kluczowe: gospodarka obiegu zamkniętego, standard nZEB, budownictwo niskoemisyjne, budynki przyjazne środowisku

The article presents a conceptual design of a single-family dwelling building that meets the current near-zero-energy standard (nZEB), in which the principles of circular economy, including architectural design, selection of construction, materials and installation solutions, were taken into account in the design phase.

Keywords: circular economy, nZEB standard, low-emission construction, sustainable construction, environmentally friendly buildings

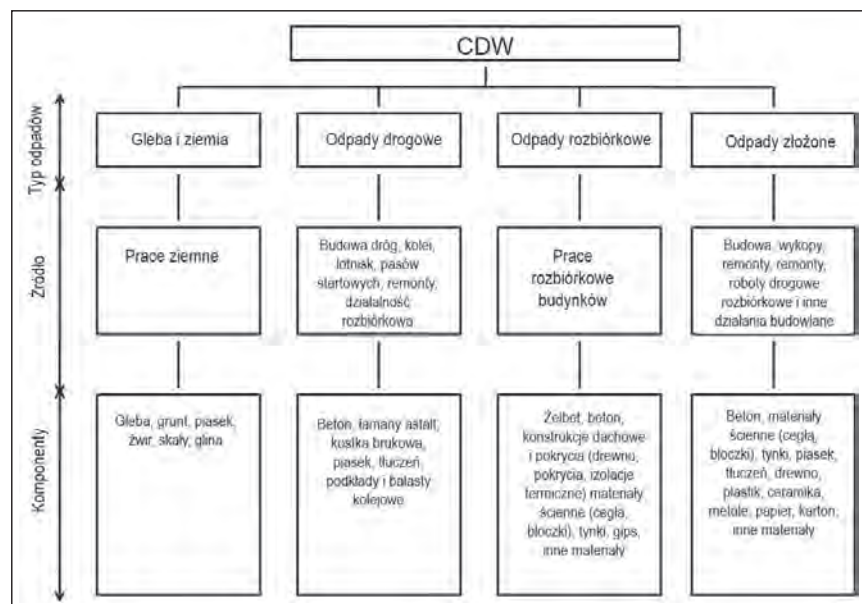
Wprowadzenie

Przemysł budowlany zużywa w swoich procesach znaczne ilości surowców. Efektem finalnym jest oczywiście produkt, ale również odpady [1], których ilość na terenie Unii Europejskiej szacowana jest na 900 mln ton rocznie [2]. Odpady w budownictwie (C&DW – *Construction and Demolition Waste*) (rys. 1) powstają głównie w fazie początkowej życia budynku (produkcja materiałów budowlanych, proces wznoszenia i wykańczania budynku), następnie podczas realizacji zróznicowanego zakresu remontów i ostatecznie u schyłku życia obiektu na skutek jego rozbiórki. Odpady te stanowią obecnie główne źródło odpadów z dość niskim udziałem ich ponownego zagospodarowania.

Konieczność właściwego zarządzania szeroką grupą odpadów budowlanych bezpośrednio powiązana jest z europejską transformacją energetyczną w zakresie zrównoważonego wykorzystania zasobów zarówno energetycznych, jak również służących do produkcji materiałów i wyrobów budowlanych oraz ograniczeniem sektorowej energochłonności. Strategia Europa

2020 oraz tzw. dyrektywa odpadowa [4] nałożyły na państwa członkowskie obowiązek uzyskania wskaźnika recyklingu na poziomie 70%, obejmującego również odpady budowlane, dlatego kluczowe

w tej kwestii jest poszukiwanie technologii pozwalających na zwiększenie ponownego wykorzystania surowców wtórnych [4]. Technologie wykorzystania C&DW w grupie "głównych" materiałów i wyrobów



Rys. 1. Charakterystyka odpadów budowlanych, na podstawie [3]
 Fig. 1. Characteristics of construction waste, based on [3].

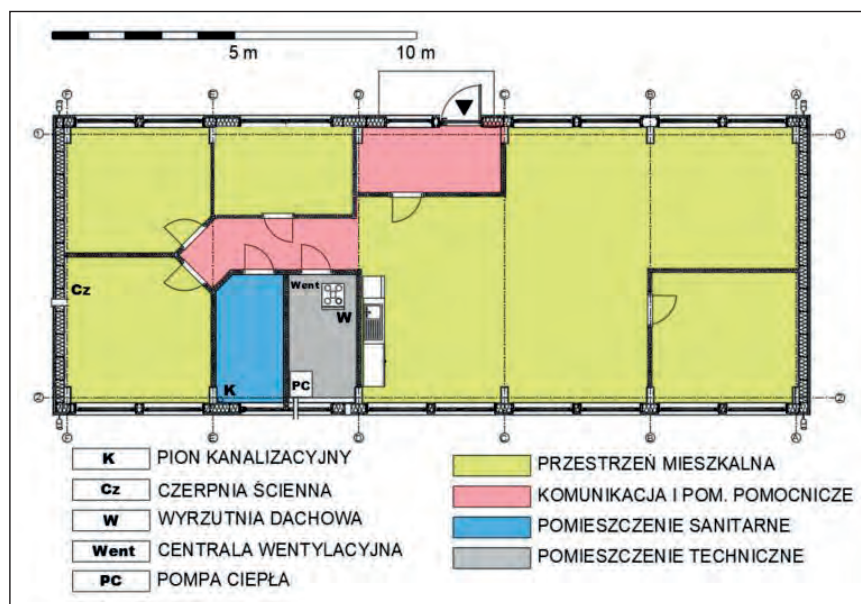
mgr inż. Jakub Kosmałski, dr hab. inż. prof. ZUT Katarzyna Zwarycz-Makles, <https://orcid.org/0000-0002-3738-9596>, dr inż. arch. Karolina Kurtz-Orecka, <https://orcid.org/0000-0002943-5701> – Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie. Adres do korespondencji / Corresponding Author: kzwarycz@zut.edu.pl

budowlanych nadal są w fazie badawczo-rozwojowej, stąd z uwagi na typowy kilkudziesięcioletni okres użytkowania obiektów budowlanych, jako równie istotne należy wskazać działania projektowe zmierzające do wydłużenia czasu użytkowania budynku, jak również pozwalające na realizację przyszłych modernizacji i remontów z mniejszym udziałem odpadów.

Projektowanie współczesnych budynków powinno zmierzać do racjonalizacji rozwiązań z perspektywy okresu ich użytkowania, w tym wyzwań związanych z prowadzeniem remontów w różnej skali oraz schyłkowego okresu życia budynku obejmującego rozbiórkę, segregację i ponowne wprowadzenie w obieg surowców porozbiórkowych, zaś w przypadku odpadów niepodlegających dalszemu przekształceniu – utylizację. Takie podejście do projektowania budynków wpisuje się w zasady gospodarki o obiegu zamkniętym (circular economy). Zgodnie z nimi ilość odpadów powinna być maksymalnie ograniczana, a wprowadzone na rynek produkty powinny umożliwiać użytkowanie ich w jak najdłuższym okresie, pozwalać na późniejszy demontaż oraz recykling. Wszystkie te zasady pozwalają przede wszystkim na ograniczenie zasobochłonności i emisji [5]. W budownictwie główny, docelowy produkt – budynek – stanowi bardzo specyficzny finalny efekt procesu, charakteryzujący się znaczną zasobochłonnością, dużym udziałem energii wbudowanej, a przede wszystkim bardzo długim okresem użytkowania i tym samym oddziaływania na środowisko, dlatego zagadnienia zrównowazenia środowiskowego, poprawa efektywności energetycznej oraz wprowadzenie zasad gospodarki obiegu zamkniętego (GOZ) są coraz częściej analizowane już w procesie projektowym [6, 7]. Na przykładzie projektu koncepcyjnego budynku mieszkalnego jednorodzinnego przedstawione zostaną wybrane zagadnienia związane z procesem projektowania wpisującego się w zasady gospodarki o obiegu zamkniętym.

Założenia oraz przyjęte rozwiązania projektowe

Założono realizację projektu koncepcyjnego wolnostojącego, parterowego budynku mieszkalnego jednorodzinnego o powierzchni użytkowej wynoszącej 145 m². W projekcie [8] przyjęto prostą formę budynku (rys. 2), którego rzut oparto na kształcie wydłużonego prostokąta o stosunku długości boków 1:2,54 i wymiarach zewnętrznych 8,20 m × 20,80 m, zaś przekrój na bazie trapezu z rzędną maksy-



Rys. 2.
Schemat rzutu budynku [8]
Fig. 2. Scheme of the building plan [8].

malną na poziomie 6 m. Przyjęta bryła budynku pozwoliła na ograniczenie powierzchni przegrod chłodzących. Założenie to podyktowane było przewidywanym niekorzystnym wskaźnikiem zwartości bryły budynku (A/V) wynikającym z jego skali [9]. Dla przyjętej geometrii budynku współczynnik ten wynosi 0,68 m⁻¹.

W celu ograniczenia ilości powstających odpadów podczas budowy oraz zapewnienia bardziej racjonalnej gospodarki odpadami, w projektowaniu przyjęto realizację budynku w technologii prefabrykowanej. Odstąpiono od tradycyjnego kształtowania konstrukcji budynku z dość „gęstym” układem ścian nośnych. Założono wykonanie głównej konstrukcji nośnej jako ramowej, trapezowej. Rozmiary projektowanego budynku pozwalają na zastosowanie ram jednonawowych. Zmiana typu konstrukcji z jednej strony pozwala na jej prefabrykację, z drugiej niesie daleko idące pozytywne konsekwencje dla układu funkcjonalno-użytkowego obiektu – pozwala na bardziej elastyczne kształtowanie rozkładu pomieszczeń oraz ich powierzchni. Podział wewnętrzny nie jest tu uwarunkowany przebiegiem wewnętrznego układu konstrukcyjnego, do dyspozycji pozostaje wolna przestrzeń ograniczona jedynie przegrodami zewnętrznymi. Zaprojektowanie budynku w konstrukcji ramowej pozwala na swobodny podział wnętrza budynku na strefy funkcjonalne (wydzielenie pomieszczeń) na etapie projektowania, jak również przyszły wtórny podział przestrzeni zgodnie ze zmieniającymi się w czasie potrzebami użytkowników, np. powiększenie pomieszczeń lub ich dalszy podział. Możliwa jest

również ingerencja w elewację budynku, jak np. zmiana wielkości i kształtu otworów (okiennej, drzwiowych). Przewidywane przekształcenia nie naruszają konstrukcji głównej budynku, a jedynie konstrukcję drugorzędą. Mając na względzie okres użytkowania budynków, który dla obiektów o konstrukcji drewnianej szacowany jest na 80-100 lat, jak również zróżnicowaną (jednak istotnie niższą) żywotność jego poszczególnych elementów wyposażenia, w tym systemów technicznych, przyjęte podejście niejako uelastycznia tkankę budowlaną, nie ograniczając swoją strukturą potrzeb przyszłych użytkowników, czym wpisuje się w ideę zrównowazonego rozwoju.

W proponowanym podejściu projektowym elastyczne kształtowanie wnętrza budynku zawiera jednak pewne ograniczenia wynikające z kwestii konieczności zaopatrzenia budynku w media. W projekcie zaproponowano rozwiązanie określone jako energooszczędne w porównaniu do konwencjonalnych, założono wentylację mechaniczną nawiewno-wywiewną z odzyskiem ciepła z powietrza usuwanego oraz pompę ciepła jako źródło energii dla instalacji ciepłej wody i centralnego ogrzewania. Umożliwiając użytkownikom łatwość wprowadzania zmian w podziale pomieszczeń i w sposobie ich funkcjonowania należy wziąć pod uwagę fakt powstawania kolejnych odpadów w wyniku remontu. W celu ograniczenia ilości tych odpadów oraz biorąc pod uwagę racjonalność kosztów wprowadzanych zmian, a jednocześnie spełniając wymagania techniczne dotyczące instalacji wewnętrznych i źródła ciepła, zaproponowano

w analizie budynku cztery punkty stałe związane z przejściami instalacji przez przegrody zewnętrzne. Punkty te określają zalecane stałe usytuowanie odcinków lub elementów instalacji wewnętrznych pomimo remontów, a ich zmiana, choć technicznie możliwa, będzie generować kolejne koszty oraz produkty uboczne remontu – odpady.

Pierwszy stały punkt wyposażenia instalacyjnego to punkt lokalizacji pionu kanalizacji sanitarnej (rys. 2). Drugi i trzeci punkt stały to lokalizacja czepni i wyrzutni powietrza instalacji wentylacji mechanicznej. Czwarty punkt stały to punkt wprowadzenia przewodów z dolnego źródła do pompy ciepła w budynku. Lokalizację pionu kanalizacji sanitarnej, czepni, wyrzutni, centrali wentylacyjnej i pompy ciepła należy uwzględnić w prowadzonych w przyszłości zmianach aranżacji przestrzeni wewnętrznej budynku, szczególnie tych dotyczących zmiany użytkowania, przebudowy łazienki i pomieszczenia technicznego.

Opisane podejście w projektowaniu instalacji i źródeł ciepła jest, z jednej strony, próbą dostosowania się na etapie projektowym do ewentualnych zmian wprowadzanych w przyszłości przez użytkowników. To dostosowanie ma na celu ograniczenie kosztów przyszłych zmian, ograniczenie zużycia materiałów i powstałych odpadów a jednocześnie zwiększa swobodę w zagospodarowaniu przestrzeni wewnętrznej. Pozwala tym samym na wykorzystanie energii wbudowanej w dłuższym od standardowego okresie czasu, jak również sprzyja ograniczeniu niskiej emisji [10]. Z drugiej strony, proces ten charakteryzuje się ograniczeniami, które należy uwzględnić w analizie np. opisane wyżej punkty stałe w przedstawionym budynku.

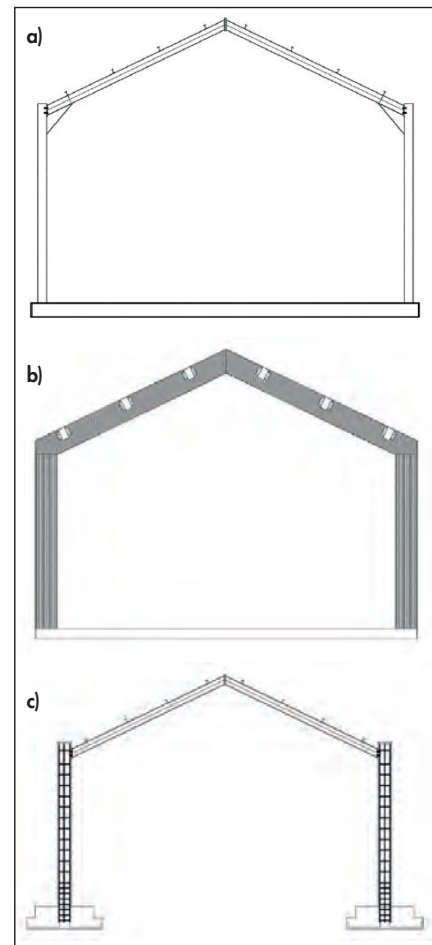
Rozwój rynku budowlanego, czyli wprowadzanie nowych materiałów, nowych rozwiązań technicznych i urządzeń o wyższej sprawności w przypadku realizowania przez użytkowników zmian w podziale pomieszczeń i w sposobie ich funkcjonowania, umożliwi poprzez now-

Tab. 1. Rama stalowa konstrukcji pierwszego rzędu – zestawienie stali, energochłonność produkcji i emisja [6]
Tab. 1. Steel frame of the first row structure – list of steel, energy intensity of production and emissions [6].

Poz.	Kształtownik	Długość, [mm]	Liczba [szt.]	Masa jednostkowa [kg/m]	Masa całkowita [kg]
1	IPE 180	3877	2	18,80	145,78
2	IPE 180	3792	2	18,80	138,23
3	IPE 80	4000	2	6,00	192,00
4	Bl. 131×10	248	2	10,28	5,10
5	Bl. 131×10	240	2	10,28	494
6	Bl. 90×20	803	2	14,287	20,945
7	Bl. 496×20	587	2	7,787	91,42
Masa łącznie jednej ramy konstrukcji pierwszego rzędu [kg]					600,42
Dodatek na spoiny [kg]					10,81
Masa łączna [kg]					611,23
Energochłonność produkcji [GJ]					5 040,203
Emisyjność [MgCO ₂]					1,131

Tab. 2. Rama żelbetowo-stalowa konstrukcji pierwszego rzędu – zestawienie materiałów, energochłonność produkcji oraz emisja [6]
Tab. 2. Reinforced concrete and steel frame of the first row structure – list of materials, energy intensity of production and emissions [6].

Poz.	Stal / średnica prętów zbrojeniowych [mm]	Długość [mm]	Liczba ogółem [szt.]	Długość ogółem [m]	
				φ12	φ6
1	B500SP φ12	3000	12	36,00	
2	B500SP φ12	1060	12	12,72	
3	B500SP φ6	614	40		24,56
4	B500SP φ6	1754	40		35,06
Łączna długość [m]				48,72	59,64
Masa jednostkowa [kg/m]				0,888	0,222
Masa [kg]				43,26	13,24
Masa łączna [kg]				56,50	
Przekrój pręta [cm ²]				1,13	0,28
Objętość stali [m ³]				0,00055	0,000166
Objętość słupów konstrukcji pierwszego rzędu [m ³]				0,360	
- stal				0,000717	
- beton				0,359283	
Mieszanka betonowa C20/25 [kg]					
- cement: 107				107,8	
- piasek				194,02	
- żwir				359,3	
- woda				53,895	
Energochłonność produkcji [GJ]				3 722,467	
Emisyjność [MgCO ₂]				0,821	



Rys. 3.

Schemat rozpatrywanej konstrukcji pierwszego rzędu: a) stalowej, b) z drewna klejonego warstwowo, c) żelbetowo-stalowej [8]

Fig. 3. Scheme of the considered first-order structure: a) steel structure, b) glued laminated timber structure, c) reinforced concrete and steel structure [8].

sze rozwiązania zastosowane w czasie remontu utrzymanie funkcjonalności technicznej w dłuższym czasie, przy zmieniających się potrzebach użytkowników.

W fazie przedprojektowej przeprowadzono analizę rozwiązań materiałowych głównego układu nośnego, ukierunkowaną na wybór materiału o najniższym śladzie węglowym związanym z procesem produkcji. Do analizy przyjęto ramy stalowe, ramy żelbetowo-stalowe oraz konstrukcję z drewna klejonego warstwowo (rys. 3). Dobór rozwiązań materiałowych przegród zewnętrznych i wewnętrznych budynku, w pierwszym rzędzie ukierunkowany był na materiały i wyroby budowlane zawierające w swojej strukturze już obecnie surowce pochodzące z recyklingu, oraz w drugim rzędzie – przy braku adekwatnych rozwiązań na rynku – dobór takich rozwiązań, które w przyszłości w jak największym stopniu dadzą możliwość przeprowadzenia nieskomplikowanej rozbiórki obiektu, odpowiedniego sortowania powstałego odpadu (C&DW)

oraz ponownego wprowadzenia zasobów do obiegu surowcowego.

Oszacowanie ilości materiałów do realizacji poszczególnych ram (rys. 3) wykonano w oparciu o [11, 12, 13, 14, 15]. Na podstawie badań źródłowych oraz analiz własnych (tab. 1-3) ustalono, że wykonanie jednej ramy konstrukcji pierwszego rzędu obarczone jest emisją: 1,131 MgCO₂ w przypadku konstrukcji stalowej, 0,821 MgCO₂ dla konstrukcji żelbetowo-stalowej oraz 0,189 MgCO₂ w odniesieniu do ramy z drewna klejonego warstwowo. Ramy z drewna klejonego warstwowo dalej przyjęto do projektowania.

Tab. 3. Rama konstrukcji pierwszego rzędu z drewna klejonego warstwowo – zestawienie materiału, energochłonność produkcji oraz emisja [6]

Tab. 3. The frame of the first row structure made of glued laminated timber – material list, energy intensity of production and emissions [6].

Objętość drewna w ramie drewnianej [m ³]	1,85
Energochłonność produkcji [GJ]	1,310
Emisyjność [MgCO ₂]	0,189

Tab. 4. Współczynnik przenikania ciepła przegród obudowy budynku [6, 14]

Tab. 4. Building envelope thermal transmittance [6, 14].

Przegroda	Współczynnik przenikania ciepła, W/(m ² K)	
	Projektowany [6]	Ustalenie zgodności z obowiązującymi przepisami techniczno-budowlanymi [14]
Podłoga na gruncie	0,098	≤ 0,30
Ściany zewnętrzne	0,13	≤ 0,20
Dach	0,08	≤ 0,15
Okna	0,53	≤ 0,9
Drzwi zewnętrzne	0,63	≤ 1,3

Przewidziano posadowienie budynku na płycie fundamentowej wykonanej w szalunku traconym. Z uwagi na brak podpiwniczenia, rzędną posadowienia przyjęto na rzędnej znacznie wyższej niż wynika to z głębokości przemarzania gruntu, co jest możliwe przy spełnieniu wymagań projektowania posadowienia zgodnie z Polską Normą PN-EN ISO 13793 [16]. Ściany osłonowe oraz główną warstwę połaci dachu zaprojektowano z prefabrykowanych paneli ściennych i dachowych wykonanych na bazie drewna i materiałów drewnopochodnych, izolowanych wełną drzewną pozyskiwaną z recyklingu materiałów drewnianych. Elementy otworowe – okna i drzwi, dobrano jako dostępne na rynku komponenty o wysokiej izolacyjności termicznej. Charakterystyki cieplne przegród stanowiących obudowę budynku zestawiono w tabeli 4.

Rozwiązania instalacyjne i wskaźniki energetyczne budynku

Wybraną do analizy koncepcję projektową budynku uzupełniono koniecznymi rozwiązaniami instalacyjnymi. Jako źródło ciepła przyjęto wysokiej klasy ener-

getycznej sprężarkową pompę ciepła (rys. 4). Zaproponowano pompę ciepła wykorzystującą ciepło gruntu, ciepło jest pobierane za pomocą sond gruntowych (pionowych lub poziomych – w zależności od możliwości finansowych inwestora oraz powierzchni, rodzaju działki budowlanej). Temperatura dolnego źródła ciepła i jej zmiany wpływają na współczynnik wydajności grzejnej pompy ciepła, przy czym im temperatura dolnego źródła jest wyższa, tym większa jest efektywność energetyczna urządzenia [18].

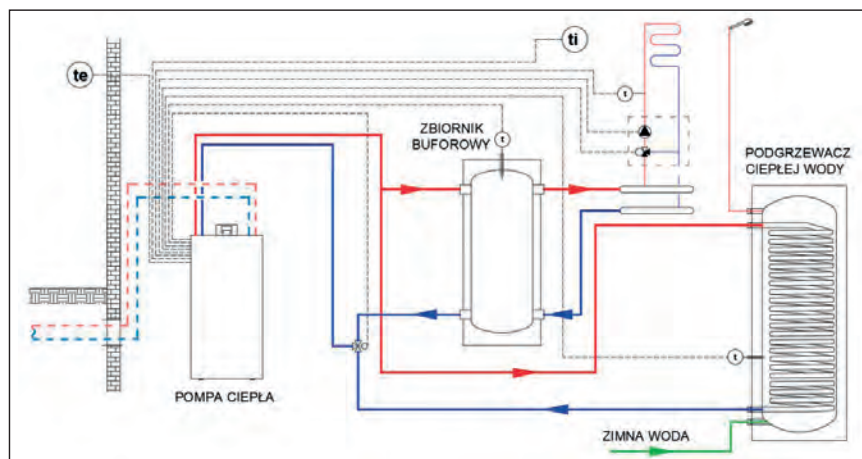
W przypadku wyboru pionowych gruntowych wymienników ciepła strumień uzyskiwanego ciepła z głębokości od 15 m do 25 m będzie zależał głównie od średniej rocznej temperatury powietrza powiązanej z natężeniem promieniowania słonecznego, wypromieniowanego ciepła z gruntu i w mniejszym stopniu – z ciepłem geotermalnym. Przy głębokościach poniżej 25 m gęstość strumienia ciepła pochodzącego z wnętrza Ziemi

(ciepła geotermicznego) jest coraz większa i intensywniej oddziałuje na możliwość do pozyskania strumienia ciepła. W przypadku wyboru wymienników gruntowych poziomych, temperatura gruntu do głębokości 5 m oraz pozyskiwany strumień ciepła zależą głównie od zmieniającej się, w zależności od pory roku, średniej temperatury powietrza [19, 20]. Temperatura górnych warstw gruntu zmienia się odpowiednio do zmian temperatury

powietrza. Dodatkowo przebieg zmian temperatury gruntu zależy także od właściwości fizycznych gruntu, takich jak: współczynnik przewodzenia ciepła, ciepło właściwe, wilgotność a także od obecności i przepływu wody w gruncie (współczynnik filtracji) [19].

Współpraca pompy ciepła z instalacją grzewczą odbywać się będzie poprzez bufor wodny. Z bufora woda grzewcza będzie kierowana do pętli grzewczych ogrzewania podłogowego. Zakres temperatur zasilania i powrotu w instalacji c.o. będzie zależny od rodzaju wybranego dolnego źródła ciepła i mocy pompy ciepła. Będzie to także miało wpływ na zastosowanie odpowiedniej armatury w rozdzielaczu do pętli grzejników podłogowych. W grupie pompowo-mieszającej, przy wybranych wyższych (dla pompy ciepła) zakresach temperatur na zasilaniu (około 40°C) można zastosować standardowe rozwiązanie z zaworem mieszającym i pompą obiegową wspomagającą pokonanie oporów hydraulicznych pętli. Z kolei przy wybranych niższych (dla pompy ciepła) zakresach temperatur na zasilaniu (poniżej około 40°C) można zrezygnować z zaworu mieszającego, zmniejszając tym samym opory hydrauliczne w układzie.

Regulacja temperatury zasilania czynnika grzewczego będzie odbywać się dzięki układowi automatycznej regulacji, który zawiera m.in. czujnik temperatury zewnętrznej (regulacja pogodowa), czujnik temperatury wewnętrznej (regulacja pomieszczeniowa) oraz urządzenia wykonawcze i wbudowany w pompę ciepła sterownik. Obecnie powszechnie stosowane są sterowniki na tyle uniwersalne, że wybór, który z czujników temperatury będzie wiodącym sygnałem w układzie automatycznej regulacji, należy do użytkownika a zmiana ustawień jest intuicyjna.



Rys. 4. Uproszczony schemat źródła ciepła z gruntową pompą ciepła
Fig. 4. A simplified scheme of a heat source with a ground-source heat pump.

Przygotowanie ciepłej wody będzie odbywać się w podgrzewaczu ciepłej wody zasilanym z pompy ciepła. Regulacja zadanej temperatury ciepłej wody będzie odbywać się w układzie automatycznej regulacji z czujnikiem temperatury w podgrzewaczu i przełączającym zaworem regulacyjnym z siłownikiem, reagującym na sygnał ze sterownika w zależności od zadanej temperatury w podgrzewaczu. Zakres zaawansowania rozwiązań w układzie automatycznej regulacji można dostosować do wymagań użytkownika.

Analiza efektywności energetycznej pomp ciepła związana jest z wykorzystaniem energii pierwotnej koniecznej do wytworzenia napędowej energii elektrycznej. Konwencjonalne źródła ciepła np. kotły na paliwa gazowe lub stałe, emitują do środowiska znaczne ilości zanieczyszczeń i gazów cieplarnianych szkodliwych dla środowiska. Z kolei stosowanie pomp ciepła umożliwia bardzo dobre wykorzystanie energii pierwotnej paliw oraz zmniejszenie emisji CO₂, pozostałych gazów cieplarnianych oraz innych zanieczyszczeń powietrza [21]. W Polsce koszty inwestycyjne pomp ciepła i wykonania dolnego źródła ciepła utrzymują się wciąż na wysokim poziomie. Może to być skompensowane dostępnością dolnego źródła ciepła (gruntu) [19, 20]. Rosnące obecnie znacząco, w porównaniu do ubiegłych lat, koszty eksploatacyjne czyli koszty energii elektrycznej mogą być częściowo skompensowane utrzymaniem zużycia energii elektrycznej przez sprężarkowe pompy ciepła na uzasadnionym poziomie pod warunkiem prawidłowego doboru wielkości wymiennika dolnego źródła ciepła i mocy pompy ciepła do zapotrzebowania

na ciepło budynku i użytkowników. Dodatkowo ze względu na to, że pompa ciepła, centrala wentylacyjna jak i pozostałe urządzenia w budynku wymagają zasilania energią elektryczną można rozważyć możliwość montażu paneli fotowoltaicznych do produkcji energii elektrycznej lokalnie, co jednak będzie wiążące się z kolejnymi kosztami inwestycyjnymi. Opłacalność inwestycji należy oceniać indywidualnie dla każdego budynku.

W budynku zaproponowano także instalację wentylacji mechanicznej z odzyskiem ciepła w centrali wentylacyjnej z wymiennikiem ciepła (rekuperatorem) (rys. 5). Przewody nawiewne i wywiewne instalacji wentylacyjnej poprowadzono w przestrzeni sufitu podwieszanego. Zaproponowano czerpnię ścienną i wyrzutnię dachową w instalacji wentylacji mechanicznej. Stosowanie energooszczędnych rozwiązań technologicznych w zakresie realizacji przemian powietrza, wykorzystywanie urządzeń o wysokiej sprawności, stosowanie systemów odzysku ciepła, poprawia efekty energetyczno-ekonomiczne eksploatacji systemów grzewczo-wentylacyjnych [22].

W przedstawionym budynku, zarówno w zakresie konstrukcji jak i w zakresie rozwiązań instalacyjnych rozważane są różne warianty, co ma służyć dokonaniu najlepszych rozwiązań technicznych i finansowych dla użytkownika (inwestora).

Wraz z rozwojem gospodarczym rośnie zapotrzebowanie na surowce. Konieczne jest rozsądne gospodarowanie ograniczonymi zasobami, zapobieganie powstawaniu odpadów i ponowne użycie produktów poprzez przekształcanie ich z odpadów w surowiec. Zaproponowanie

pompy ciepła oraz odzysku ciepła w wentylacji mechanicznej to działania związane z racjonalizacją zużycia energii oraz ochroną środowiska. Przedstawiona koncepcja rozwiązania budynku pozwala na dotrzymanie aktualnie wymaganego standardu budynku blisko zero-energetycznego (nZEB). W tabeli 5 zestawiono uzyskane wskaźniki energetyczne budynku przy przyjęciu lokalizacji obiektu w Szczecinie.

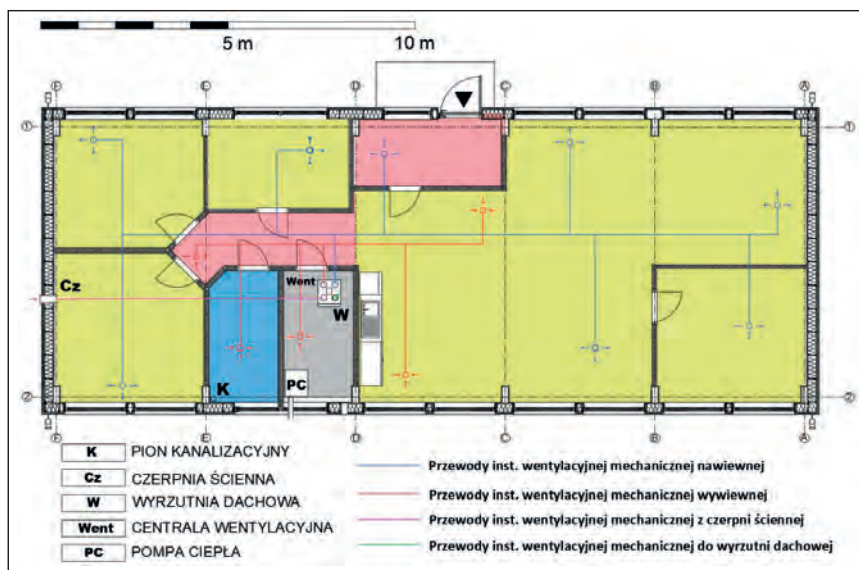
Tab. 5. Wskaźniki energetyczne przedmiotowego budynku [6, 14]

Tab. 5. Energy performance indicators of the building in question [6, 14].

Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową, kWh/(m ² rok)	
EU _H	4,18
EU _W	24,09
EU	28,27
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową, kWh/(m ² rok)	
EK _H	1,43
EK _W	15,47
EK	17,08
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną, kWh/(m ² rok)	
EP _H	49,25
EP _{H+W}	18,14
EP	67,02
EP _{H+W,max}	70

Ochrona środowiska naturalnego oraz zahamowanie jego dalszej degradacji jest możliwe przez zastępowanie tradycyjnych, konwencjonalnych źródeł energii odnawialnymi nośnikami energii.

Znacznie tańszym i bardziej efektywnym sposobem, gwarantującym szybsze efekty poprawy środowiska jest oszczędzanie energii. Energię można zaoszczędzić: modyfikując istniejące systemy energetyczne zarówno w samym procesie jej wytwarzania, jak i transportu; wprowadzając nowe energooszczędne technologie w przemyśle, budownictwie, rolnictwie i gospodarstwach domowych; promując oszczędzanie energii oraz wprowadzając zachęcające do oszczędzania bodźce ekonomiczne (odpisy podatkowe, tanie kredyty itp.). Ograniczanie zużycia energii pierwotnej w proponowanym budynku może odbywać się także za pomocą systemów umożliwiających magazynowanie energii (ciepła i/lub energii elektrycznej), zastosowaniem pompy ciepła do wytwarzania nie tylko ciepła zimą, ale też chłodu latem [20, 23]. Kolejnym rozwiązaniem umożliwiającym realizowanie energooszczędności może być odzyskiwanie ciepła z kanalizacji sanitarnej ze ścieków szarych. Temperatura ścieków szarych, ze względu na ich pochodzenie z używania pralki, zmywarki i baterii czerpalnych umywalkowych, natryskowych, waha się w zakresie 30 - 40°C. Ciepło



Rys. 5. Uproszczony schemat instalacji wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej z odzyskiem ciepła [8]
Fig. 5. A simplified scheme of a mechanical supply and exhaust ventilation system with heat recovery [8].

z odpływających ścieków może być odzyskiwane dzięki zamontowaniu odpowiednich wymienników ciepła wokół przewodów kanalizacyjnych na wypływie za przyborami sanitarnymi i może posłużyć do wstępnego podgrzania wody wodociągowej doprowadzanej do podgrzewacza ciepłej wody [23]. Następnie, po oddaniu ciepła, ścieki szare mogą zostać zastosowane do spłukiwania toalet.

Podsumowanie

W sytuacji nadal trwających poszukiwań optymalnych środowiskowo, energetycznie, ekonomicznie i technologicznie możliwości domykania obiegu surowców w gospodarce, istotne staje się projektowanie budynków z perspektywy ich pełnego cyklu życia z uwzględnieniem rozwiązań analizujących przyszłe, węzłowe punkty życia budynku, takie jak: konieczność wymiany wyposażenia technicznego, generalny remont konstrukcji i obudowy czy przekształcenia wynikające ze zmiany potrzeb użytkowników lub zmiany funkcji obiektu. Przedstawiona praca wskazuje na znaczenie podejmowania zintegrowanych analiz przedprojektowych ukierunkowanych na zrównoważenie środowiskowo-energetyczne budynków, obejmujących równorzędnie zagadnienia kształtowania funkcjonalno-przestrzennego, konstrukcyjno-materiałowego oraz wyposażenia technicznego i instalacyjnego. Przedstawiona w artykule koncepcja rozwiązania budynku mieszkalnego jednorodzinnego dzięki przyjętym założeniom pozwala na elastyczne podejście do kształtowania funkcjonalno-przestrzennego, materiałowego oraz instalacyjnego budynku z uwzględnieniem ograniczania zużycia energii, wpływając tym samym na jego atrakcyjność użytkową i tym samym

wyłużenie czasu użytkowania. Pozwala również na wprowadzenie przyszłych rozwiązań materiałowych wprowadzanych wraz z rozwojem rynku materiałów i komponentów budowlanych, przy zachowaniu podstawowego układu konstrukcyjnego, wpływając tym samym na oszczędność energii wbudowanej i ograniczenie oddziaływania środowiskowego budynku w wieloletnim okresie jego użytkowania.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] Sadi M.A.K., Abdullah A., Sajoudi M.N., Mustafa Kamal M.F.B., Torshizi F., Taherkhani R., Reduce, Reuse, Recycle and recovery in Sustainable Construction Waste Management. *Advanced Materials Research*, Vol. 446-449/2012, pp 937-944.
- [2] Being wise with waste: the EU's approach to waste management. European Commission, Directorate-General Environment, Information Centre (BU-9 0/11). Publication Office of the European Union, Luxembourg. 2010.
- [3] Arslan H., Coşgun N., Salgin B., Construction and Demolition Waste Management in Turkey – An Integrated Vision. *IntechOpen*, 2012, DOI: 10.5772/46110.
- [4] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów.
- [5] Tundys B., Zielony łańcuch dostaw w gospodarce o określonym obiegu – założenia, relacje, implikacje. [W] *Prace naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, Nr 383. Wrocław, 2015, s. 288-301.
- [6] Kurtz-Orecka K., Głowacka A., Tuchowski W., Zrównoważenie środowiskowe oraz gospodarka obiegu zamkniętego – analiza dobrych praktyk na przykładzie kampusu środowiskowego Birkenfeld. *Instal*, 5/2022, DOI: 10.36119/15.2022.5.1.
- [7] Koczergo K., Niemyjski O., Wybrane aspekty poprawy efektywności energetycznej dostawy ciepła do budynków według standardów WT2021. *Instal*, 9/2020, DOI: 10.36119/15.2020.9.1.
- [8] Kosmalski J., Projekt budynku nZEB wpisującego się w zasady ekonomii obiegu zamkniętego. Praca dyplomowa magisterska napisana pod kierunkiem K. Kurtz-Oreckiej. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin 2022, na prawach rękopisu.
- [9] Kurtz-Orecka K., Energooszczędność a bryła budynku – studia nad współczynnikiem kształtu. [W] *Kontekst energetyczny kształtowania form architektonicznych w badaniach i projektach*. Praca zbiorowa pod red. Marchwińskiego J. Oficyna Wydawnicza WSEiZ w Warszawie, Warszawa 2015, s. 85-98.
- [10] Proszak-Miąsik D., Nowak K., Metody ograniczenia niskiej emisji w zabudowie miejskiej. *Instal*, 6/2019.
- [11] Laurent A., Gaboury S., Wells J., Bonfils S., Boucher J., Sylvie B., D'Amours S., Villeneuve C., Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of a Glued-Laminated Wood Product from Quebec's Boreal Forest. *Forest Product Journal*, 2013.
- [12] Gajdzik B., Energochłonność produkcji stali – Analiza retrospektywna i prognostyczna, *Prace Instytutu Metalurgii Żelaza*, 2016.
- [13] Środa B., Potencjał przemysłu cementowego w redukcji emisji CO₂. *Technologie*, lipiec-wrzesień 2017, <https://yadda.icm.edu.pl>, (dostęp 15.10.2021).
- [14] Ile cementu na m³ betonu. Ile cementu na m³ betonu? | Sprawdź odpowiedź eksperta! (zelbetex.pl), (dostęp 18.10.2021).
- [15] Bukowski H., Fabrycka W.: Budownictwo w obiegu zamkniętym w praktyce. INNOWO, Warszawa 2019.
- [16] Polska Norma PN-EN ISO 13793:2002 Właściwości cieplne budynków – Projektowanie cieplne posadowień w celu uniknięcia wysadzin mrozowych. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2002.
- [17] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2022.75.690 z późn. zm.
- [18] Sakowicz R.A., Werner-Juszczuk A.J., Operating costs of air and ground source heat pumps. *Instal*, 7-8/2022, DOI: 10.36119/15.2022.7-8.4.
- [19] Rubik M., Chłdnictwo i pompy ciepła, Wydawnictwo Medium, 2020.
- [20] Stec A., Słyś D., Instalacje ekologiczne w budownictwie mieszkaniowym, KaBe, 2016.
- [21] Rabczak S., Nycz B., Źródło ciepła a emisja CO₂. *Instal*, 7-8/2019.
- [22] Lipska B., Projektowanie wentylacji i klimatyzacji. Urządzenia i przewody, Gliwice, 2018.
- [23] Kordana A., Słyś D., Odzysk ciepła odpadowego w instalacjach i systemach kanalizacyjnych, KaBe, 2022.

