

Budynki o zerowym zapotrzebowaniu wody – wyzwania i rozwiązania

Net Zero Water Buildings – challenges and solutions

Elżbieta Niemierka, Piotr Jadwiszczak*

Słowa kluczowe: Net-Zero Water, Net-Zero Water Buildings, NZWB, budynki o zerowym zapotrzebowaniu wody

Streszczenie

Budynki o zerowym rocznym zapotrzebowaniu na wodę netto są bardzo atrakcyjnym ekonomicznie i ekologicznie rozwiązaniem. Celem jest zbilansowanie masowe całkowitego zużycia wody w budynku, z sumą masy wody pozyskiwanej lokalnie z alternatywnych źródeł oraz lokalnie zwracanej do środowiska. Realizacja tego celu wymaga odpowiedniej konfiguracji infrastruktury i instalacji budynkowych, umożliwiającej ograniczenie zapotrzebowanie na wodę, wykorzystanie alternatywnych źródeł wody, lokalne oczyszczanie ścieków oraz bezpiecznie dla środowiska lokalne zwracanie wody do jej podziemnych zasobów. Wyzwaniami w projektowaniu tego typu budynków są braki jednolitej definicji, brak jednolitych standardów i wytycznych, brak właściwych metod i narzędzi obliczeniowych oraz ograniczenia wynikające z regulacji prawnych niedostosowanych do innowacyjnych technologii.

Keywords: Net-Zero Water, NZWB

Abstract

The Net-Zero Water Buildings are economically and ecologically attractive. The aim is to balance the total water consumption and the sum of alternative water and returned water. Relevant configuration of building systems reduces the water demand, uses alternative water and treated wastewater, and returns water. Design challenges in the Net-Zero Water project include the lack of uniform definition, the lack of standards and guidelines, the lack of calculation methods and tools, and inappropriate regulations.

1. WSTĘP

Presja sektora budowlanego na środowisko, związana z pozyskaniem i zużyciem nieodnawialnych surowców, energii i wody oraz z emisją zanieczyszczeń i odpadów, w obliczu kryzysu klimatycznego i wodnego, wywołała potrzebę wdrażania zrównoważonych strategii projektowania i zarządzania budynkami. Jedną z dróg łagodzenia tej niekorzystnej presji są budynki o zerowej wartości netto rocznego wpływu na środowisko (ang. Net-Zero Buildings). Są to budynki, w których specjalnie zaprojektowane rozwiązania i systemy techniczne umożliwiają równoważenie rocznych nakładów z rocznymi zyskami. W uproszczeniu oznacza to, że budynek zarówno zużywa, jak i produkuje np. energię lokalnie w obrębie obiektu czy działki, a w skali roku jego bilans energetyczny wynosi zero [13, 14, 20].

Historycznie jako pierwsza pojawiła się koncepcja budynków o zerowym rocznym zapotrzebowaniu energii netto (Net-Zero Energy Buildings). Zawiera ona rozwiązania techniczne oraz strategie zarządzania energią zgodnie z tzw. piramidą hierarchii postępowania (rys. 1). Analogiczne koncepcje dotyczą budynków o zerowej rocznej emisji netto (Net-Zero Emission Buildings), zerowej rocznej produkcji odpadów (Net-Zero Waste Buildings) oraz o zerowym rocznym zapotrzebowaniu na wodę netto (Net-Zero Water Buildings) [4, 13, 14, 12].



Rys. 1. Hierarchia postępowania z energią, wodą i odpadami zgodnie z ideą Net-Zero [4]
Fig. 1. Net-Zero energy, water and waste hierarchies [4]

W sektorze budowlanym występuje wysokie zapotrzebowanie słodkiej wody, a tym samym duży potencjał jej oszczędzania [13, 17]. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego sektor komunalny w Polsce odpowiada obecnie za około 20% krajowego zużycia słodkiej wody. Europejska Agencja Środowiska podaje, że w Unii Europejskiej jest to około 12%, a amerykańska agencja U.S. Environmental Protection Agency raportuje 13% udział tego sektora w zużyciu słodkiej wody w USA. Dane statystyczne pokazują, że zapotrzebowanie słodkiej wody wciąż rośnie i przyjmuje się, że wraz ze wzrostem standardu życia oraz oczekiwanego poziomu komfortu zużycie wody w budynkach i w miastach wciąż będzie rosło [1].

Sama ochrona dotychczasowych źródeł wody staje się niewystarczająca w staraniach o zaspokajanie zapotrzebowania na wodę

* Elżbieta Niemierka, dr inż., e-mail: elzbieta.niemierka@pwr.edu.pl, Piotr Jadwiszczak, dr inż. e-mail: piotr.jadwiszczak@pwr.edu.pl, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wrocławska

jednocześnie społeczeństwa, gospodarki i środowiska [5, 20]. Jako konieczne wskazuje się: oszczędzanie wody, zamykanie obiegów wody oraz poszukiwanie jej “nowych” źródeł, najlepiej jak najbliżej użytkowników. Słowo “nowych” nie oznacza tu przełomowych odkryć nieznanych dotychczas zasobów wodnych czy dróg tworzenia nowej wody. Oznacza identyfikację i wskazywanie w budynkowych i miejskich systemach wodnych niedostrzeganych lub ignorowanych do tej pory możliwości pozyskiwania wody. Identyfikacja, pozyskanie i wykorzystanie lokalnych źródeł wody to filar filozofii Net-Zero Water.

2. Net-Zero Water

Rozwiązania Net-Zero Water stosowane są już w przemyśle, rolnictwie i zastosowaniach wojskowych [3, 4, 8, 12]. Wdrażane tam były z powodów ekonomicznych, ochrony środowiska i klimatu oraz niezależności i bezpieczeństwa operacji i misji wojskowych [2, 3, 4, 9, 12, 17]. Uzyskanie korzyści ekonomicznych i ekologicznych zachęciło do rozszerzenia obszaru wdrażania Net-Zero na budynki i miasta.

W literaturze nie ma jednej, sformalizowanej definicji budynku o zerowym rocznym zapotrzebowaniu wody netto (Net-Zero Water Building). Większość definicji ma charakter aspiracyjny i nie opiera się na zdefiniowanych obliczeniach inżynierskich [5]. Brakuje jednoznacznej metody obliczeniowej i kroku czasowego obliczeń. Proponowane są różne granice obliczeniowe bilansu wodnego budynku Net-Zero Water, które obejmują sam budynek, budynek z działką, na której się znajduje lub budynek ze zlewnią i pierwotnym źródłem wody (np. zasobami podziemnymi).

Ogólna koncepcja Net-Zero Water Building zakłada równoważenie w obrębie granic nieruchomości rocznego zapotrzebowania wody oraz rocznej lokalnej “produkcji” wody i jej lokalnego zwracania zasobom naturalnym. Proste równanie, oparte na masowym rocznym bilansie wody, opisuje cel do osiągnięcia w budynku o zerowym rocznym zapotrzebowaniu wody netto [10]:

$$\text{Całkowite zużycie wody} \leq \text{Zużycie wody ze źródeł alternatywnych} + \text{Woda zawrócona do źródła}$$

We wzorze całkowite zużycie wody to całkowita masa wody użytej w ciągu roku w granicach budynku. Wlicza się w nią wszystkie rodzaje zużytej wody, na wszystkie cele i ze wszystkich źródeł (np. woda wodociągowa, woda deszczowa, woda odzyskana itd.).

Zużycie wody ze źródeł alternatywnych rozumiane jest tu jako masa wody pozyskanej lokalnie z alternatywnych źródeł wody (innych niż wodociąg), która zużyta w ciągu roku w granicach obliczeniowych nieruchomości. Zależnie od rodzaju źródła i technologii jej pozyskiwania jest to woda o różnej jakości, nadająca się do określonych celów. Zużycie tej wody nie obciąża źródeł wody słodkiej i poprawia bilans Net-Zero budynku (rys. 2-4).

Woda zwrócona to masa wody pozyskanej lokalnie w granicach budynku, która została w ciągu roku zwrócona do pierwotnego źródła wody, np. do wód gruntowych poprzez jej rozsączenie na terenie nieruchomości. Musi to być woda o parametrach jakości bezpiecznych dla środowiska, np. woda deszczowa, woda szara lub oczyszczone lokalnie ścieki.

Idealne rozwiązanie Net-Zero Water to budynek samowystarczalny pod względem zaopatrzenia w wodę, o zamkniętym obiegu wody, gdzie cała potrzebna woda jest pozyskiwana na miejscu, a wszystkie ścieki są lokalnie oczyszczane w celu ich ponownego wykorzystania lub rozsączenia na terenie obiektu. Bardziej realnym w warunkach miejskich rozwiązaniem Net-Zero Water są budynki, w których bilansie masowym, roczne zużycie wody wodociągowej jest kompensowane wykorzystaniem wody pozyskiwanej lokalnie ze źródeł alternatywnych oraz strumieniem rozsączanych w granicach nieruchomości nadmiarów pozyskanej wody oraz lokalnie oczyszczonych ścieków [8, 9, 15, 18,19].

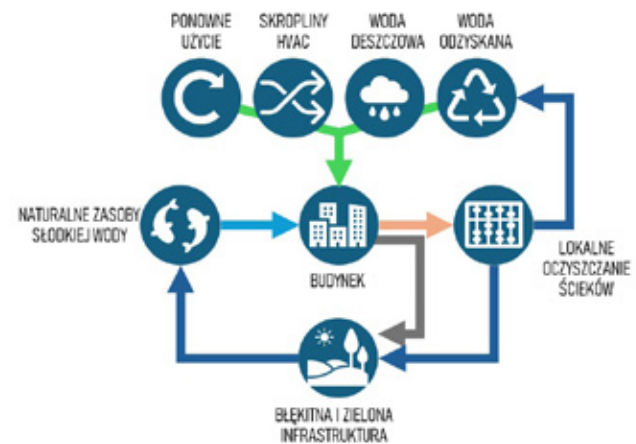
Kluczową różnicą pomiędzy Net-Zero Water, a konwencjonalną koncepcją gospodarki wodnej w miastach są ich nadrzędne cele. Tradycyjna gospodarka wodna kładzie nacisk na efektywne kosztowo planowanie infrastruktury dla zapewnienia dostaw wody. Net-Zero Water poszerza cel o ograniczenie zużycia wody, wykorzystywanie lokalnych źródeł wody, zwrot wody do jej pierwotnych zasobów, aby osiągnąć samowystarczalność z jednoczesnymi ochroną i regeneracją zasobów wodnych [5].

Uzyskanie zerowego rocznego bilansu wody w budynkach minimalizuje ich eksploatacyjny ślad wodny, ogranicza ilość ścieków kierowanych do kanalizacji i oczyszczalni oraz zapobiega powodziom miejskim i suszom [1, 8, 9]. Znacząco redukując zapotrzebowanie wody z centralnych systemów wodociągowych, rozproszone systemy Net-Zero Water są elementem adaptacji i zwiększania odporności budynków, miast i miejskich systemów wodociągowych na zmianę klimatu, niekorzystne zmiany w zasobach wodnych oraz starzenie się infrastruktury wodociągowej [5].

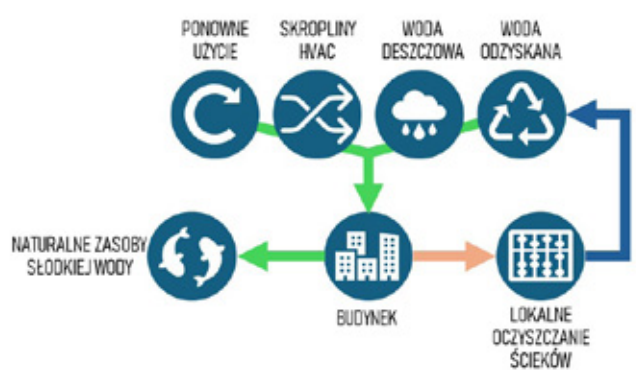


Rys. 2. Schemat przepływów wody w tradycyjnym, nie zrównoważonym modelu liniowym gospodarki wodnej w budynku.

Fig. 2. Diagram of traditional and unsustainable linear building water flow management model.



Rys. 3. Schemat przepływów wody w budynku Net-Zero Water bilansującego wodę pobieraną z wodociągu wodą ze źródeł alternatywnych i wodą zwracaną do źródła Fig. 3. Diagram of water flows in the Net-Zero Water building, balancing supplied freshwater with water from alternative water sources and water returned to the original water source



Rys. 4. Schemat przepływów wody w samowystarczalnym budynku Net-Zero Water bilansującego zużycie i lokalne pozyskiwanie wody w obiegu zamkniętym, z wykorzystaniem alternatywnych źródeł wody

Fig. 4. Diagram of water flows in the self-sufficient Net-Zero Water building, balancing supplied freshwater with closed-loop water systems and alternative water sources

3. Elementy strategii Net-Zero Water Building

Stworzenie budynku o zerowym rocznym zapotrzebowaniu wody netto wymaga rozważenia, opracowania i zrównoważonego połączenia następujących elementów projektu [1, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 16, 17, 19, 21]:

1. Ograniczenie zużycia wody w budynku

Pierwszym krokiem strategii Net-Zero Water jest maksymalne ograniczenie zużycia wody w budynku. Dotyczy to wszystkich strumieni wody w budynku, niezależnie od ich pochodzenia, przeznaczenia i wymaganej jakości. Przykładowo, w budynkowych instalacjach wodociągowych w tym celu stosowane są armatura i urządzenia o niskim wypływie, ograniczające czas i ilość wypływającej wody (np. perlatory, baterie czasowe i bezdotykowe itp.) oraz rozwiązania bezwodne (np. pisuary bezwodne, kanalizacja podciśnieniowa, toalety kompostujące itp.). Zalecane są również urządzenia recykulujące wodę (np. recykulacyjne zmywarki naczyń, prysznice z zamkniętym obiegiem wody itp.).

Ograniczane lub eliminowane są systemy HVAC wykorzystujące wodę. W ich miejsce stosowane są systemy bazujące na rozwiązaniach pasywnych. Jeżeli nie ma takiej możliwości, to stosowane są urządzenia o najwyższej efektywności, zamykane są obiegi wody oraz wykorzystywana jest woda pozyskana lokalnie.

2. Wykorzystywanie alternatywnych źródeł wody

Lokalne pozyskiwanie wody i zastępowanie nią wody wodociągowej to jeden z podstawowych postulatów i narzędzi osiągnięcia Net-Zero Water. W obrębie i w otoczeniu budynku występuje wiele alternatywnych źródeł wody niewykorzystywanych w tradycyjnych instalacjach wodnych budynków.

Przykładowe alternatywne źródła wody w obrębie i w otoczeniu budynku to:

- woda deszczowa i z roztopów,
- woda z odwadniania fundamentów,
- woda szara (np. z umywalk i pryszniców),
- kondensat z urządzeń chłodzących powietrze,
- wody popłuczne z systemów filtracji,
- woda odpadowa z systemów oczyszczania wody (np. odcieki i koncentrat w układach membranowych),
- woda odzyskana ze ścieków,
- szeregowo wykorzystana woda zanieczyszczona,
- woda powstała w wyniku prac serwisowych i testów wymagających zrzutu wody (np. testy p.poż. instalacji tryskaczowych),
- inne technologie odzysku i ponownego wykorzystania wody.

Zależnie od źródła i celu wykorzystania wody te mogą wymagać okresowego magazynowania oraz oczyszczania do wymaganej jakości. Zgodnie z ideą Net-Zero Water "wodę alternatywną" można również kupować np. w postaci wody odzyskanej w innym obiekcie.

W budynku wykorzystującym wodę ze źródeł alternatywnych wymagane są rozdzielone systemy wodno-kanalizacyjne. Ze względów sanitarnych dwie lub więcej oddzielnych instalacji dystrybucyjnych dostarczają wodę o różnej jakości i zanieczyszczeniu do oddzielnych zastosowań końcowych. Wymagają więc oddzielnych systemów ich monitorowania i rozliczania. Rozdzielone są również instalacje kanalizacyjne, które zbierają ścieki danego rodzaju i transportują je do zbiorników lub układów oczyszczania.

3. Lokalne oczyszczanie ścieków

Lokalne oczyszczone ścieki to atrakcyjne źródło wody. Wymaga to jednak stosownej infrastruktury, nadzoru i miejsca. Oczyszczone lub podczyszczone na miejscu ścieki mogą być ponownie wykorzystane w budynku w procesach niewymagających wysokiej jakości wody.

Lokalne oczyszczanie, do wymaganego prawem poziomu ścieków, umożliwia również ich rozsączanie na terenie posesji, w celu zwrócenia ich do pierwotnego źródła wody. To bezpieczne dla środowiska działanie wspiera regenerację lokalnych zasobów wody, odciąża system kanalizacyjny i centralne oczyszczalnie ścieków oraz poprawia masowy bilans wodny budynku.

Nie istnieje jedna uniwersalna technologia oczyszczania ścieków dla budynków Net-Zero Water. Zazwyczaj łączy się kilka procesów lub technologii, dobierając je indywidualnie do konkretnego przypadku, stopnia zanieczyszczenia i wymaganej docelowo jakości wody. Procesy oczyszczania ścieków są energochłonne, a zużycie energii kształtowane jest zestawem procesów jednostkowych. Im więcej etapów oczyszczania i im bardziej dokładne jest oczyszczanie, tym większe jest zapotrzebowanie energii. Zaleca się wybór procesów energooszczędnych oraz ich zasilanie lub wspomaganie odnawialnymi źródłami energii.

W określonych przypadkach lokalne oczyszczalnie ścieków może być nieopłacalne lub niewykonalne. W takim wypadku w bilansie masowym wody w budynku, strumień ścieków odprowadzanych do sieci kanalizacyjnej musi być skompensowany wodą z innych lokalnych źródeł.

4. Uzdatnianie i odnowa wody

Zaawansowane technologie uzdatniania wody, w celu jej ponownego wykorzystania, silnie wspierają osiągnięcie celu Net-Zero Water w budynkach. Technologia uzdatniania i odnowy wody umożliwia całkowite zamknięcie obiegu wody, przez przywrócenie jej jakości wody nadającej się do spożycia.

Nie istnieje uniwersalna technologia uzdatniania i odnowy wody zanieczyszczonej, poprocesowej lub odzyskanej. Procesy jednostkowe dobiera się do konkretnego przypadku.

Są to kosztowne i energochłonne układy, a przez to często nieopłacalne. Technologie te stosowane są na terenach z ograniczonym lub brakiem dostępu do źródeł wody.

5. Zwracanie wody do pierwotnego źródła

Bilans masowy wody Net-Zero Water przewiduje kompensowanie masy wody pobranej z wodociągu masą wody rozsączanej w obliczeniowych granicach nieruchomości. Trafiając do gruntu wody te wspomagają regenerację lokalnych, podziemnych zasobów wody i poprawiają roczny masowy bilans wody netto w budynku.

W idealnym rozwiązaniu budynek Net Zero Water w ciągu roku zwraca do warstwy wodonośnej masowo tyle wody, ile z niej zostało pobrane. W założeniu działania te również minimalizują międzyzlewniowe transfery wody, które są niekorzystne dla środowiska i ekosystemów.

Roszczanie np. nadmiarowej wody opadowej, kondensatu z klimatyzacji, wody szarej czy odpowiednio oczyszczonych ścieków, wymaga stworzenia właściwych rozwiązań techniczno-instalacyjnych. Pasywne rozwiązania infrastruktury zewnętrznej i zagospodarowania terenu wokół budynku umożliwia efektywne zarządzanie zwracaniem wody do gruntu, np. poprzez wykorzystanie rozwiązań zielonej i błękitnej infrastruktury, terenów zielonych, studni chłonnych czy powierzchni rozsączalniczych.

6. Wodnooszczędne kształtowanie krajobrazu

Teren nieruchomości jest jednocześnie obszarem lokalnego pozyskiwania wody, jej infiltracji oraz zapotrzebowania wynikającego z utrzymywania zieleni. Świadome i zrównoważone kształtowanie krajobrazu na terenie nieruchomości zmniejsza lub nawet eliminuje zapotrzebowanie na wodę w otoczeniu budynku. Xeriscaping (od greckiego słowa „xeros” – suchy) jest techniką kształtowania krajobrazu, która zmniejsza lub eliminuje konieczność podlewania roślin poprzez stosowanie rodzimych gatunków, odpornych na suszę i przystosowanych do lokalnego klimatu. W trend ten wpisują się tereny zielone, zielone dachy i inne żywe elementy budynku.

Jeżeli zachodzi potrzeba nawadniania roślin, to powinno odbywać się to poprzez wodooszczędne systemy nawadniania (np. kropelkowe zamiast zraszaczy) oraz z wykorzystaniem lokalnie pozyskanej wody deszczowej, szarej lub odzyskanej ze ścieków, a nie wody wodociągowej.

7. Błękitna i zielona infrastruktura

Błękitna i zielona infrastruktura jest znanym pojęciem, oferującym szeroki wachlarz rozwiązań bazujących na naturze, które zatrzymują wodę deszczową na miejscu opadu i infiltrują ją z powrotem do wód gruntowych. Łącząc rozwiązania techniczne i naturalne wpisuje się w korzystne działania, w celu osiągnięcia Net-Zero Water działając jednocześnie kilkoma opisanymi powyżej rozwiązaniami.

8. Świadomość i zachowania użytkowników wody

Obok rozwiązań technicznych, to zachowania użytkowników kształtują zużycie wody w budynku. W budynkach wodooszczędnych i o zamkniętych obiegach wody konieczne jest podnoszenie świadomości użytkowników przez ich edukowanie, informowanie o bieżącym zużyciu i oszczędności wody oraz stosowanie zachęt ekonomicznych związanych z gospodarowaniem wodą. Rola świadomych użytkowników nie kończy się na zakręcaniu kranu, gdy nie jest on używany. Niebagatelne znaczenie również ma wykrywanie i szybkie zgłaszanie lub usuwanie awarii czy nieszczelności w ich instalacjach wodnych oraz świadomy wybór i właściwe korzystanie z urządzeń efektywnie wykorzystujących wodę.

9. Pomiar strumieni wody

Zrównoważona eksploatacja i wykazywanie osiągnięcia poziomu Net-Zero Water wymaga zaprojektowanie i wdrożenia odpowiednich systemów pomiarowych strumieni wody w budynku. Są one narzędziem bieżącego monitoringu i okresowej oceny wyników osiągniętych przez budynek.

Standardowo stosowany główny licznik wody podaje jedynie całkowitą ilość wody zużytej, importowanej w granice bilansowe budynku. W budynkach Net-Zero Water konieczne jest rozszerzenia opomiarowania o podliczniki, które wydziela każdą przestrzeń i system zużywające, produkujące lub rozsączające wodę. System powinien obejmować co najmniej pomiar następujących strumieni wody:

- zużycie wody pitnej na cele spożywcze i inne wymagające takiej jakości,
- zużycie wody pitnej na cele niewymagające takiej jakości,
- zużycie wody ze źródeł alternatywnych,
- zrzut lokalnie oczyszczonych ścieków do pierwotnego źródła wody,
- zrzut wód opadowych do pierwotnego źródła wody.

Zebrane dane pomiarowe pozwalają identyfikować rzeczywiste strumienie zużywanej i pozyskiwanej wody, trendy krótko i długoterminowe, tryby pracy systemów, wspomagają wykrywanie nieszczelności oraz awarii itd. Dane archiwalne pozwalają planować i wprowadzać korekty oraz weryfikować i rozliczać wyniki wdrażania ulepszeń przez porównanie zużycia wody przed i po zmianie.

Pomiary in-situ w budynkach Net-Zero Water dostarczają bezcennej wiedzy w obszarach nieokreślonych wskaźnikami czy stałymi zależnościami jak np. pozyskiwanie wody deszczowej zależne od zdarzeń pogodowych, czy pozyskiwanie szarej wody zależne od nawyków mieszkańców itp.

10. Zasilanie energią odnawialną

Zrównoważona gospodarka wodna, systemy odzysku, oczyszczania i wykorzystania wody w obiegach zamkniętych wymagają zasilania energią. Mimo promowania rozwiązań pasywnych nie jest możliwe całkowite zrezygnowanie z pompowania czy z systemów monitoringu i sterowania. Rozwiązaniem jest zasilanie lub wspieranie zasilania systemów tłoczenia, magazynowania i uzdatniania

energią odnawialną. Mimo iż energia napędowa nie wliczana jest bezpośrednio w bilans Net-Zero Water budynku, to stanowi ważny aspekt wpływu budynku na środowisko.

4. Przeszkody w realizacji budynków Net-Zero Water

Budynki i miasta Net-Zero Water są dziś technologicznie wykonalne. Potwierdzają to działające obiekty pilotażowe na całym świecie. Istnieje jednak szereg trudności i przeszkód w szerokim i uniwersalnym projektowaniu obiektów o zerowym rocznym zapotrzebowaniu wody netto przez szerokie grono inżynierów. Do najważniejszych przeszkód należą [5, 6, 8, 11, 13, 14, 16, 20]:

1. Brak kompleksowych regulacji prawnych i wytycznych projektowych

Konieczna jest rewizja istniejących lub stworzenie nowych regulacji prawnych, szczególnie w obszarze ponownego wykorzystania ścieków oczyszczonych, wody szarej i wód opadowych w budynkach. Przeszarżałe przepisy są wymierną przeszkodą we wdrażaniu innowacyjnych systemów uzdatniania i ponownego wykorzystania wody.

2. Brak narzędzi analitycznych

Zintegrowane projektowanie obiektów Net-Zero Water wymaga narzędzi do wspomagania podejmowania decyzji. Powszechne są już złożone i skuteczne narzędzie analiz energetycznych czy emisji. W wypadku zaopatrzenia w wodę narzędzia te zazwyczaj działają w formacie kalkulatora bazującego na współczynnikach i wartościach normowych lub statycznych.

Konieczny jest rozwój dynamicznych narzędzi do wspomagania decyzji projektowych i do efektywnego zarządzania wodą, o dużej rozdzielczości czasowej umożliwiających modelowanie strumieni zapotrzebowania, odzysku i produkcji wody w budynku, zarówno ze źródeł konwencjonalnych, odnawialnych jak i alternatywnych.

3. Wysokie koszty początkowe i długoterminowa perspektywa zysków finansowych

Ze względu na brak wzorców i metod obliczeniowych trudne staje się wykazanie opłacalności ekonomicznej i efektu ekologicznego, które często są jednym z czynników decydujących o realizacji i zakresie przedsięwzięcia. Na koszty wpływają również niestandardowe rozwiązania, złożone prace koncepcyjne, projektowe, wykonawcze i eksploatacyjne.

4. Stereotypy i złe nawyki użytkowników

Świadomość korzystania z wody odzyskanej ze ścieków dla wielu użytkowników wciąż jest nie do zaakceptowania. Brak wiedzy i złe nawyki nieoszczędnego korzystania z wody to jedno z podstawowych zagrożeń w osiąganiu celu Net-Zero Water w budynkach. Konieczne jest edukowanie użytkowników na temat oszczędzania wody, wodooszczędnych zachowań, obsługi systemów Net-Zero Water oraz o jakości i bezpieczeństwie sanitarnym wody pochodzącej ze źródeł alternatywnych.

5. Konieczność właściwego zarządzania i konserwacji

Systemy oszczędzania, oczyszczania i rozsączania wody oraz systemy zamkniętego obiegu wody wymagają specjalistycznego nadzoru, serwisowania i eksploatacji. W porównaniu do tradycyjnego budynku są to systemy bardziej liczne i bardziej złożone. Niewłaściwie eksploatowane i zaniedbane szybko tracą swoją skuteczność i efektywność.

6. Indywidualność rozwiązań projektowych

Rozwiązania techniczne i strategie gospodarowania wodą w budynku Net-Zero Water muszą być każdorazowo dostosowywane do lokalnych warunków jak typ budynku, zapotrzebowanie i zużycie wody, lokalny klimat i opady, źródła i dostępność wody, powierzchnia i przepuszczalność wodna otoczenia budynku itp.

7. Złożone zależności w obiegach wodnych budynku

W systemach technicznych budynków o zamkniętym obiegu wody oraz bazujących na alternatywnych źródłach wody istnieje wiele, często złożonych, powiązań. Ich identyfikacja oraz wykorzystanie w projekcie wymaga wiedzy i doświadczenia z szerokiego obszaru procesów i urządzeń wykorzystywanych w budynkach oraz umiejętności ich łączenia (np. odpadowa woda z jednego procesu może być źródłem wody dla innego systemu).

Dodatkowo wiele powyższych zależności bazuje na czynnikach, które mogą zmienić się w trakcie trwania projektu, a nawet na etapie wykonywania obiektu. Pociąga to za sobą konieczność ponownego analizowania, obliczania i projektowania rozwiązań Net-Zero Water.

8. Podwójne instalacje i zapotrzebowanie terenu

Zapewnienie bezpieczeństwa sanitarnego w budynkach Net-Zero Water wymaga rozdzielenia poszczególnych strumieni wody o różnym zanieczyszczeniu i pochodzeniu. Rozdzielone systemy wodno-kanalizacyjne są droższe w wykonaniu oraz zajmują zdecydowanie więcej miejsca w budynku i jego otoczeniu.

9. Ograniczenia w budynkach istniejących

W istniejących obiektach występują oczywiste ograniczenia eliminujące poszczególne rozwiązania oraz podnoszące koszty realizacji. Najważniejszymi wydają się ograniczenia w zakresie dostępnej powierzchni i komplikacje związane z przepisami. Bariery te teoretycznie nie istnieją w wypadku nowych budynków, gdzie od początku projektu planowane są miejsce i dodatkowa infrastruktura służąca osiągnięciu celów Net-Zero Water.

5. Podsumowanie

Budynki o zerowym rocznym zapotrzebowaniu wody netto wyznaczają nowe standardy w zrównoważonym projektowaniu, których celem jest osiągnięcie neutralności wodnej poprzez właściwe koncepcje, rozwiązania technologiczne i zrównoważone zarządzanie wodą. Koncepcja Net-Zero Water jest zgodna z podstawową koncepcją zrównoważonego rozwoju, czyli zapewnieniem rozwoju gospodarki i społeczeństwa bez uszczerbku dla dostępności zasobów czystej wody w środowisku w przyszłości.

W obliczu urbanizacji i rosnącego zapotrzebowania na słodką wodę budynki, osiedla i miasta o zerowym zapotrzebowaniu wody netto są obiecującym rozwiązaniem walki z kryzysem wodnym, zmniejszania śladu wodnego oraz presji na środowisko i zasoby wody. Mniejsze zużycie wody w miastach to również mniejsze zużycie energii w systemach uzdatniania i dystrybucji wody oraz odprowadzania i oczyszczania ścieków. Lokalne pozyskiwanie i odzyskiwanie wody ze źródeł alternatywnych zmniejsza zapotrzebowanie na zasoby słodkiej wody, zachowując ją do innych celów.

W obecnej fazie rozwoju technologii Net-Zero Water szczególnie cenne są doświadczenia i dane pomiarowe z budynków będących prototypami lub pilotami nowych technologii. Wzbogacają one wiedzę inżynierską oraz weryfikują zastosowane rozwiązania i przyjęte założenia projektowe.

Sukcesywny rozwój technologii, bazy wiedzy, narzędzi obliczeniowych, regulacji prawnych, rosnąca świadomość społeczna oraz obniżające się koszty przyspieszą rozwój i szerokie stosowanie technologii Net-Zero Water w budynkach i miastach. Przewiduje się, że efektywność energetyczna i opłacalność rozwiązań Net-Zero Water będą rozwijane jako działania zaradcze w obliczu nasilającego się kryzysu wodnego i presji na źródła wody.

LITERATURA

[1] Asadi Somayeh, Morteza Nazari-Heris, Sajad Rezaei Nasab, Hossein Torabi, Melika Sharifronizi. 2020. "An updated review on net-zero energy and water buildings: Design and operation." W *Food-energy-water nexus resilience and sustainable development: Decision-making methods, planning, and trade-off analysis*, 267–90. Springer, Cham.

[2] Casey Tina. 2022. "Support Our Troops, Climate Change Edition: U.S. Army Draws Net Zero Roadmap". *Triple Pundit*.

[3] Chhipi-Shrestha Gyan K., Kasun N. Hewage, Rehan Sadiq. 2018. "Economic and energy efficiency of net-zero water communities: System dynamics analysis". *Journal of Sustainable Water in the Built Environment* 4 (3): 1–14. https://www.researchgate.net/publication/324654058_Economic_and_Energy_Efficiency_of_Net-Zero_Water_Communities_System_Dynamics_Analysis

[4] Colton Heaps. 2015. "Army Net Zero: Lessons Learned in Net Zero Energy". NREL/BR-7A40-62946. Golden, CO (United States). National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/62946.pdf>

[5] Crosson Courtney, Andrea Achilli, Adriana A Zuniga-Teran, Elizabeth A Mack, Tamme R Albrecht, Prabha Shrestha, Dominic L Boccelli, et al. 2020. "Net Zero Urban Water from Concept to Applications: Integrating Natural, Built, and Social Systems for Responsive and Adaptive Solutions". *ACS ES&T Water* 2021 1 (3): 518–29. <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsestwater.0c00180>

[6] Crosson Courtney. 2018. "Innovating the urban water system: Achieving a net zero water future beyond current regulation". *Technology | Architecture+ Design* 2 (1): 68–81. <https://doi.org/10.1080/24751448.2018.1420966>

[7] De Burca Jackie. 2023. "Net-Zero Water Buildings: efficient water use and treatment systems". *Constructive Voices*. <https://constructive-voices.com/net-zero-water-buildings-efficient-water-use-and-treatment-systems/>

[8] Englehardt James D., Tingting Wu, Frederick Bloetscher, Yang Deng, et al. 2016. "Net-zero water management: Achieving energy-positive municipal water supply". *Environmental Science: Water Research & Technology* 2 (2): 250–60. https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2016/ew/c5ew00204d?casa_token=mrRaPaiz5kgAAAAA:Tmak5tS4ZbrrdJlUozbT7lJterYzJcHcvBgicljUrZ98a7oz-7esE8vICK3vLaiHcFk_q2ye67cHcFSQ

[9] Englehardt James D., Tingting Wu, George Tchobanoglous. 2013. "Urban net-zero water treatment and mineralization: Experiments, modeling and design". *Water research* 47 (13): 4680–91. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004313541300434X>

[10] Fowler Kimberly M., Deniz I. Demirkanli, Donna J. Hostick, Katherine L. McMordie-Stoughton, Amy E. Solana, Robin S. Sullivan. 2017. "Federal New Buildings Handbook for Net Zero Energy, Water, and Waste". PNNL-26638. Richland, WA: Pacific Northwest National Laboratory.

[11] Harputlugil Timuçin, Gülsu Ulukavak Harputlugil, Pieter de Wilde. 2020. "An Approach for Simulation in Support of the Design of Net – Zero Water Buildings (NZWB)". W *The REHVA European HVAC Journal* 57 (6): 46-53. Üsküdar/Istanbul (Turkey). Teknik Sektör Yayincılığı A.Ş. <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/an-approach-for-simulation-in-support-of-the-design-of-net-zero-water-buildings-nzwb-1>

[12] Holtzower D. Lantz, Kavin Priest, Rorigo Castro-Raventós, Robert J. Ries. 2014. "Value and Limits of Net Zero Energy, Water, and Agriculture". *iSBE Net Zero Built Environment: Nature-Based Building Performance-Net Zero Energy, Water, Carbon, and Waste: 7–20*. https://www.researchgate.net/profile/Hamed-Hakim/publication/322592351_iSBE_NZ-BE_2014_Conference_Proceeding/links/5a6163c7aca272a158175281/iSBE-NZ-BE-2014-Conference-Proceeding.pdf#page=10

[13] Joustra Caryssa M., Daniel H. Yeh. 2014. "Net-Zero Building Water Cycle Decision Support". *iSBE Net Zero Built Environment: Nature-Based Building Performance-Net Zero Energy, Water, Carbon, and Waste: 56–67*. https://www.researchgate.net/profile/Hamed-Hakim/publication/322592351_iSBE_NZ-BE_2014_Conference_Proceeding/links/5a6163c7aca272a158175281/iSBE-NZ-BE-2014-Conference-Proceeding.pdf#page=59

[14] Joustra Caryssa M., Daniel H. Yeh. 2015. "Framework for net-zero and net-positive building water cycle management". *Building Research & Information* 43 (1): 121-132. https://www.researchgate.net/publication/266800231_Framework_for_net-zero_and_net-positive_building_water_cycle_management

[15] Marro Marcy. 2020. "Achieving Net Zero Water: A look at how two projects have achieved net zero water as part of the Living Building Challenge" <https://www.metalconstructionnews.com/articles/achieving-net-zero-water/>

[16] Morto Jennie. 2013. "A Path to Net-Zero Water". *Buildings*. <https://www.buildings.com/industry-news/article/10188833/a-path-to-net-zero-water>

[17] Naserisafavi Niloufar, Ehsan Yaghoubi, Ashok K Sharma. 2021. "Alternative Water Supply Systems to Achieve the Net Zero Water Use Goal in High-Density Mixed-Use Buildings." *Sustainable Cities and Society* 76 (103414). <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670721006879>

[18] Piacentini Richard V. 2017. "A whole-building, integrated approach for designing a high-performance, net-zero-energy and net-zero-water building". W *Mediterranean Green Buildings & Renewable Energy*, 267–90. Springer, Cham. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-30746-6_73?fbclid=IwAR0EU-HB0hhdfieStON05PAOBFha204DN7m3TXnrXWC7SVYm4PLAq7gXjas_aem_Ad192llfTMYPdy-AmuPBGhxZy7FHZgx8OqvW9c5pfAgEgNEYGq9YufKNEWe_O08x1oWreeX8lCzaoVhbPqw58kTH#Sec1

[19] Snideman Debbie. 2012. "The Net-Zero Water Dorm". *The American Society of Mechanical Engineers*. <https://www.asme.org/topics-resources/content/the-net-zero-water-dorm>

[20] TNBC. 2023. "The Rise of Net-Zero Water Buildings". *The Notebook Club*. <https://the-notebookclub.com/2023/08/08/the-rise-of-net-zero-water-buildings/>

[21] Walunj Abhijeet, Nikhil Sonawane, Karan Borhade, Suraj Nalawade, Kavita Bhurke. 2021. "Comparative Study of Net Zero Energy Building." W *International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEEM)* 3 (7): 2972–80.