

Wybrane ekonomiczne aspekty retencjonowania wód deszczowych

Chosen economical aspects of storm water retention

WOJCIECH DĄBROWSKI, AGATA PAWŁOWSKA-SALACH

DOI 10.36119/15.2023.6.6

W oczekiwaniu na rozwój modeli optymalizacyjnych, które pozwalają na wybór najlepszej zielonej i szarej infrastruktury i ich lokalizacji, obecnie konieczne jest dokonywanie racjonalnych wyborów dotyczących retencji wody deszczowej. Opisano i przedyskutowano niektóre aspekty ekonomiczne możliwych wyborów z uwzględnieniem lokalnych uwarunkowań krajowych w porównaniu z uwarunkowaniami występującymi w innych państwach europejskich. Wzięto pod uwagę i porównano aktualne ceny żelbetowych zbiorników, zbiorników z tworzyw sztucznych, drenażu francuskiego oraz różnych rodzajów zabudowy zielonej.

Słowa kluczowe: retencja wody deszczowej, zielona infrastruktura, szara infrastruktura

Waiting for development of optimization models that allow the selection of the best green and grey infrastructure type and its location it is necessary to make rational decisions concerning storm water run-off retention. Some economical aspects of potential choices have been described and discussed taking into consideration local Polish circumstances in comparison with other European countries. Actual prices of: reinforced concrete tanks, plastic tanks, gravels for constructing French drains, and various green infrastructures, have been considered and compared.

Keywords: green infrastructure, grey infrastructure, retention of storm water

Wstęp

Klimat zmienia się dynamicznie i jest to jedno z największych zagrożeń środowiskowych, społecznych i ekonomicznych. Od początku XIV do połowy XIX wieku miało miejsce małe zlodowacenie, które objęło zasięgiem co najmniej obszar Północnego Atlantyku. Nie ma również wątpliwości co do tego, że w ostatnich ponad stu latach, średnia temperatura powierzchni globu wykazywała tendencję wzrostową. Stwierdzenie to można udowodnić rozpatrując ponad dwudziesto-trzydziestoletnie okresy. Analiza krótszych okresów ukazujących zakłócenia zjawiska ocieplenia może doprowadzić do przeciwnych wniosków odnośnie do zmian temperatury. Zakłócenia te wynikają między innymi z tego, że najpowszechniejszym gazem cieplarnianym jest para wodna, a jej stężenie na różnych poziomach w atmosferze podlega zmianom stochastycznym. Jednak najważniejsze zakłócenia spowodowane są zmianą aktywności słońca. Nakładają się na to zmiany kształtu orbity krążenia ziemi w okresie wieloletnim i drobne zmiany w jej nachyleniu. Wspomniane zmiany klimatu powodują

obecnie wydłużanie okresów suszy, a także zwiększając częstotliwość ulewnych deszczy. Aby zminimalizować negatywne skutki tych zmian konieczne jest zwiększenie retencji wód deszczowych w miejscu ich opadu lub w sieci kanalizacyjnej. Jednym ze sposobów retencjonowania jest zastosowanie infrastruktury szarej w postaci zbiorników retencyjnych lub infrastruktury zielonej do retencjonowania wód deszczowych. Poza warunkami technicznymi istotnym kryterium wyboru są koszty omawianej infrastruktury, które zestawiono w artykule. Ma to na celu ułatwienie wyboru najkorzystniejszego rozwiązania.

Zmiany klimatu

Największe miasta w Polsce opracowały strategię dostosowania ich struktury do zmian klimatu do 2030 roku z perspektywą do 2050 roku. Strategie te opierają się na hipotetycznych zmianach klimatu, a więc opracowane w nich zalecenia niekoniecznie okażą się poprawne. Tymczasem nie ma nawet pewności czy paradoksalnie, globalne ocieplenie nie spowoduje oziębienia w Europie przez zmianę ułożenia prądów oceanicznych. Wysoka śred-

nia roczna temperatura, jak na swoją szerokość geograficzną, w Europie związana jest z ciepłym prądem oceanicznym nazywanym Prądem Północnoatlantyckim, który stanowi przedłużenie Gólsztrumu. To on powoduje, że u zachodnich wybrzeży Szkocji można przy odpowiednich zabiegach pielęgnacyjnych utrzymać przy życiu w ogrodach nawet niektóre palmy. Gdyby w wyniku ocieplenia klimatu doszło do zmian układu prądów morskich, to w Europie można by spodziewać się napływu zimnych mas powietrza, co mogłoby doprowadzić do upadku rolnictwa. Obecnie, zdecydowanie przeważa pogląd, że energia zgromadzona w dwóch największych światowych prądach morskich jest zbyt wielka, aby ocieplenie klimatu mogło doprowadzić do zmiany ich przebiegu. Układ prądów zależy od gęstości wody, a więc nie tylko od temperatury, ale również i zasolenia, a układ tych prądów ma wpływ na nakładanie się od góry prądów ciepłych na głębiej położone prądy zimne. Tak więc, pomimo tego, że jak obecnie wiadomo, od ośmiu tysięcy lat cyrkulacja głównych prądów morskich nie wykazywała znaczących zmian, to jednak niektóre mniejsze prądy zanikają, a inne

prof. dr hab. inż. Wojciech Dąbrowski <https://orcid.org/0000-0003-0896-793X>, dr inż. Agata Pawłowska-Salach <https://orcid.org/0000-0001-6854-3464>, Politechnika Krakowska. Adres do korespondencji/ Corresponding author: wojciech.dabrowski@pk.edu.pl

powstają i wpływ na nie globalnego ocieplenia nie jest teraz do końca możliwy do przewidzenia.

Obecnie przyjmuje się, iż w wyniku działalności antropogenicznej ocieplenie globalne będzie przyspieszać i że spowoduje ono dalsze coraz gwałtowniejsze ocieplenie klimatu w Polsce. Pomimo, że dotychczas, ocieplenie spowodowało mniejsze od spodziewanych podwyższenie średniej rocznej wysokości opadu w skali kontynentów, powszechnie stwierdzono nasilenie się ulewnych deszczy, co spowodowało przeciążenie kanalizacji deszczowej i ogólnospławnej oraz nasilenie zjawisk powodziowych. Z drugiej strony, widoczne jest również wydłużenie okresów bezopadowych, które powodując uszczuplenie wód gruntowych jest dotkliwie dla rolnictwa.

Skutki dla gospodarki komunalnej

Nasilające się deszcze nawalne zagrożą jakości ujmowanej wody surowej w czasie powodzi. Dotyczy to głównie ujęć bezpośrednio z cieków, z których ujmuje się w Polsce około 15% wody na cele komunalne, podczas gdy w Niemczech jedynie 1%. Mogą również wystąpić problemy z ilością ujmowanej wody z uwagi na pogłębianie się stanów niżowych w ziemie.

Zmiany klimatyczne zmniejszają też zasoby dostępnej wody słodkiej. W Polsce pobiera się w przeliczeniu na jednego mieszkańca dwukrotnie mniej wody niż w Unii Europejskiej i jeszcze trochę mniej niż wynosi średnia światowa [2,5,9,11]. Przykładowo, na Węgrzech jest ujmowane siedmiokrotnie więcej wody na jednego mieszkańca niż w Polsce. W Niemczech jest pobierane o połowę więcej niż w Polsce, natomiast w Szwecji, w Czechach i na Litwie mniej. Pomimo tak niepokojących danych, Polska dopiero w przyszłości może odczuć prawdziwy brak wody, jeżeli zmiany klimatyczne wymuszają zmiany struktury jej zużycia w kierunku obserwowanym w skali kuli ziemskiej, na której 68% pobieranej wody przeznaczane jest dla rolnictwa, a w Polsce obecnie zaledwie 8%. Jeżeli strukturę konsumpcji wody porównać z krajami europejskimi, to jednak tak dużych ilości wody nie przeznaczają się na rolnictwo nawet na południu kontynentu, gdyż to w Azji nawadniane jest aż 70% całkowitej powierzchni upraw rolnych na świecie. Ponadto powszechne tam rośliny uprawne są znacznie bardziej wodochłonne niż uprawy europejskie. Przykładowo, dla wyprodukowania jednego kilograma ryżu zużywa się 5 m³ wody, jednego kilograma pszenicy 2 m³, zaś ziemniaków

1,5 m³. Największy europejski producent ryżu, którym są Włochy, produkuje go w skromnych ilościach w porównaniu z krajami azjatyckimi, w których z kolei pszenicy i ziemniaków uprawia się bardzo dużo. W przypadku produkcji napojów, dla uzyskania jednego kilograma mielonej kawy zużywa się 21 m³ wody, co w przeliczeniu na jedną standardową filiżankę kawy daje około 1120 litrów wody, a celowo dla wyhodowania herbaty potrzebnej do uzyskania jednej szklanki napoju zużywa się dziesięciokrotnie mniej wody. W porównaniu z krajami wyżej rozwiniętymi, w Polsce spożycie wołowiny jest niższe. Do wyprodukowania jednego kilograma wołowiny potrzeba 15 m³ wody, a jednego kilograma drobiu 3,5 m³, zaś jajek jedynie 3,3 m³. Tak więc, rodzaje powszechnej w kraju produkcji rolnej nie są szczególnie wodochłonne. Jednakże, ilość wody przeznaczanej w Polsce na nawadnianie upraw w przeliczeniu na jednego mieszkańca jest na tyle mała, w porównaniu ze średnią światową, że zmiany klimatyczne wymuszając budowę takich systemów mogą spowodować istotne braki wody, znacznie poważniejsze od tych, z którymi mamy do czynienia obecnie.

Specyficzne polskie uwarunkowania

Wśród uwarunkowań mających wpływ na planowanie infrastruktury zielonej w Polsce należy wymienić te, które różnią się znacznie od uwarunkowań w innych krajach europejskich i powinny mieć wpływ na gospodarkę wodami opadowymi. Przede wszystkim jest to różnica w strukturze sieci kanalizacyjnych. Według danych opublikowanych w 1999 roku, w Polsce pomiędzy 20% a 30% skanalizowanych terenów obsługiwanych było przez kanalizację ogólnospławną [1]. Od zebrania danych do tej publikacji w kraju coraz powszechniej budowane były systemy kanalizacyjne w terenach o niskiej gęstości zaludnienia. Te systemy powstawały w zasadzie wyłącznie jako rozdzielcze. Obecnie ocenia się, że powierzchnie, z których następuje odprowadzenie ścieków kanalizacją ogólnospławną w Polsce stanowią niewiele powyżej 20% wszystkich skanalizowanych powierzchni. Dla porównania w Austrii jest to 75-80%, w Belgii 70%, w Danii 45-50%, w Niemczech 67%, we Francji 75-80%, w Grecji 20%, w Irlandii 60-80%, we Włoszech 60-70%, w Luksemburgu 80-90%, w Holandii 74%, w Portugalii 40-50%, w Hiszpanii 90-95%, w Finlandii 10-15%, w Szwecji 40% i w Zjednoczonym Królestwie (UK) 70% [1],[4]. Znaczna przewa-

ga udziału kanalizacji rozdzielczej w Polsce daje możliwość retencjonowania wody deszczowej nie tylko na terenie poszczególnych posesji, ale również w nadających się do tego miejscach w pobliżu kanalizacji deszczowej, a następnie wykorzystania jej do celów komunalnych, jak płukanie sieci kanalizacyjnej.

Drugą istotną różnicą jest to, że większość Europy jest drenowana do Morza Czarnego przez Dunaj, natomiast cała Polska za wyjątkiem terenu koło Baraniej Góry jest zlewnią Wisły, Odry i cieków przybrzeżnych, tak więc wszystkie cieki odprowadzane są do Bałtyku. Bałtyk jest płytkim morzem o niskim zasoleniu zagrożonym ekologicznie, a Polska jest zdecydowanie największym źródłem zanieczyszczeń wpływających do tego morza. W efekcie 97,5% powierzchni Polski jest zakwalifikowanych do powierzchni wrażliwych w kontekście wymagań stawianych oczyszczaniu ścieków.

Retencjonowanie, infiltrowanie do gruntu i opóźnianie odpływu spływów powierzchniowych wód deszczowych może być prowadzone z zastosowaniem infrastruktury szarej albo zielonej, czy też zielono-błękitnej. Infrastruktura zielona ma liczne inne zastosowania oprócz retencjonowania wód deszczowych. W opisie podjętej próby optymalizowania rodzaju i rozmieszczenia infrastruktury zielonej w jednej z dzielnic Filadelfii [3,8] uwzględniono aż szesnaście korzyści wynikających z budowy tej infrastruktury. Wśród nich, najistotniejsze jest ograniczenie krotności zrzutu zanieczyszczeń przez przelewy burzowe kanalizacji ogólnospławnej oraz oczyszczanie powietrza i stwarzanie przyjaznego mieszkańcom mikroklimatu. Podczas optymalizacji zielonej infrastruktury już te aspekty mogą być uważane za nieobiektywne i trudne do jednoznacznego ocenienia. Inne korzyści wynikające z takiej infrastruktury wymagają subiektywnej oceny uzyskanej na podstawie przeprowadzonych wywiadów z mieszkańcami. Ocena wpływu na przelewy burzowe wymaga wielokrotnych obliczeń pracy sieci w czasie rzeczywistym, zaś ocena redukcji odprowadzanych zanieczyszczeń, pomimo wielu danych pochodzących z eksperymentów prowadzonych w warunkach polowych, jest obarczona dużą niepewnością uzyskanego rezultatu. Niemożliwe wydaje się zbudowanie liniowych modeli optymalizacyjnych. Zamiast optymalnego wyboru rodzaju i przestrzennego umiejscowienia infrastruktury zielonej pozostaje na razie przeprowadzanie racjonalnych wyborów sposobu i miejsca retencjonowania wody deszczowej. Retencjonowanie

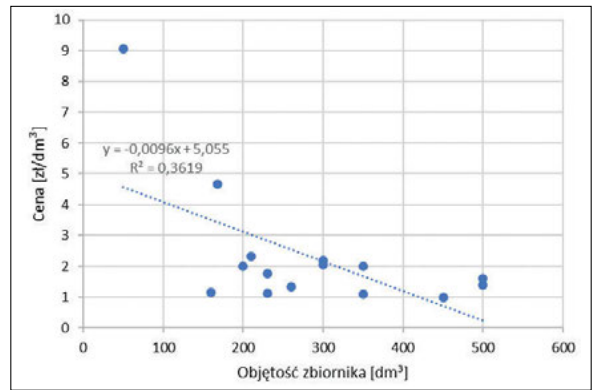
wody deszczowej powinno być większe w obszarach o odpływie skierowanym do małych lokalnych cieków wodnych, w terenie obsługiwanych przez kanalizację ogólnospławną, a nie rozdzielczą oraz w obszarach cięższych do przepiętnionych kanatów, albo takich, które będą musiały w przyszłości odprowadzać wody deszczowe z osiedli, których budowa jest planowana. Prosty i stosunkowo niedrogim sposobem retencjonowania wody są zbiorniki bezodpływowe z przelewami i zbiorniki infiltracyjne. Cena tych urządzeń jest istotnym czynnikiem decydującym o wyborze i zostanie ona tutaj omówiona w oparciu o oferty producentów i pośredników z pierwszego kwartału 2023 roku.

Koszty infrastruktury szarej w postaci zbiorników na deszczówkę

W przypadku retencjonowania wody opadowej na terenie osiedla zastosowanie może znaleźć infrastruktura szara lub zielona. Infrastruktura zielona ma szereg zalet poza retencją wody opadowej, ale efekt natychmiastowy mogą dać jedynie takie formy zabudowy zielonej jak muldy i rowy, gdyż zadrzewienia i zakrzaczenia wymagają długiego czasu wzrostu. W zakresie infrastruktury szarej, zbiorniki naziemne pozwalają jedynie na retencjonowanie niewielkich ilości wody, a koszty retencjonowania są uzależnione między innymi od estetyki i mogą być w przeliczeniu na jeden litr zatrzymanej wody wyraźnie większe od kosztów przetrzymania w dużych zbiornikach podziemnych. Na rysunku 1 pokazano zestawienie na podstawie ogłoszeń internetowych koszty takich zbiorników w zależności od ich objętości, a na rysunku 2 koszty w przeliczeniu na 1 litr objętości.

Jak widać z rysunków 1 oraz 2, ceny tych zbiorników w niewielkim stopniu zależą od ich objętości. Tego rodzaju zbiorniki mogą być stosowane przez mieszkańców i zarówno zmniejszać spływy z dachów na teren działek, jak i magazynować wodę do podlewania roślin w ogro-

Rys. 2
Ceny plastikowych zbiorników naziemnych oferowanych w Internecie w pierwszym kwartale 2023 roku w przeliczeniu na jeden litr retencjonowanej wody
Fig. 2 Prices of plastic above-ground tanks offered online in the first quarter of 2023 recalculated per one liter of retained water

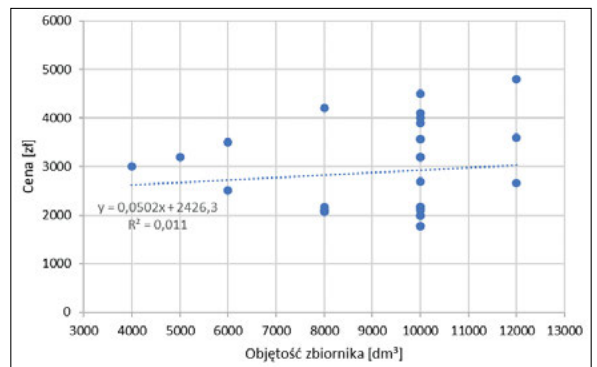


dach. Należy jednak mieć na uwadze, że w skali całego osiedla są to małe objętości. Poniżej, na rysunkach 3 oraz 4 pokazano aktualne ceny zbiorników podziemnych żelbetowych oraz z tworzyw sztucznych do retencjonowania wody.

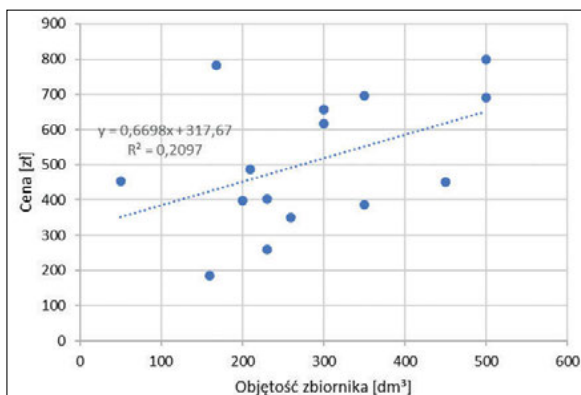
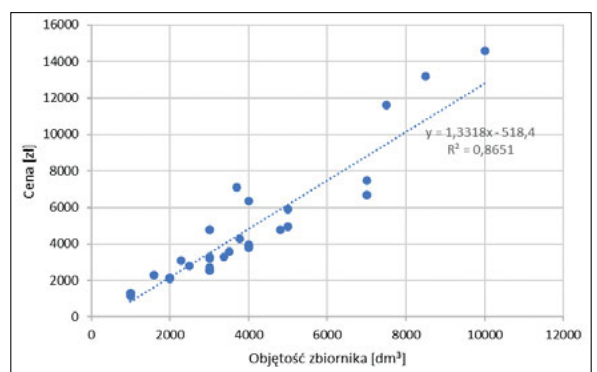
Wszystkie pokazane na rysunkach ceny dotyczą wyłącznie zbiorników bez oprzyrządowania i kosztów transportu, wykopów czy podsypki. Niektóre zbiorniki posiadają

komin żelazowy o głębokości 1,5 m, a więc cały zbiornik jest położony poniżej strefy zamrażania, a inne zostały wyposażone zaledwie w komin półmetry. Oznacza to duże różnice w nacisku ziemi, a więc konieczne różnice w zbrojeniu, głównie płyty przykrywającej. Niektóre zbiorniki są jednokomorowe podczas, gdy inne przeznaczone na szamba lub zbiorniki wody deszczowej mogą być dzielone na dwie komory.

Rys. 3
Ceny podziemnych zbiorników żelbetowych oferowanych w Internecie w pierwszym kwartale 2023 roku [12]
Fig. 3 Prices of underground reinforced concrete tanks offered on the Internet in the first quarter of 2023 [12]

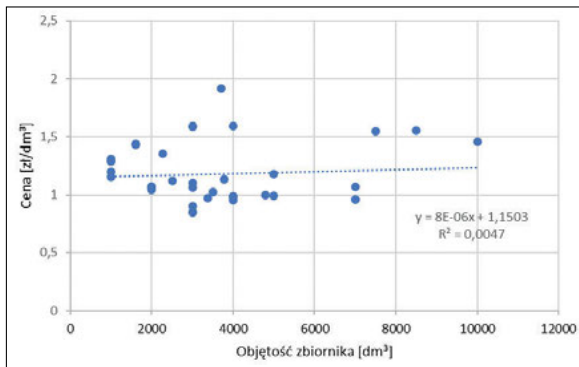


Rys. 4
Ceny podziemnych zbiorników z tworzyw sztucznych oferowanych w Internecie w pierwszym kwartale 2023 roku [12]
Fig. 4 Prices of underground plastic tanks offered online in the first quarter of 2023 [12]



Rys. 1
Ceny plastikowych zbiorników naziemnych oferowanych w Internecie w pierwszym kwartale 2023 roku [12]
Fig. 1 Prices of plastic above-ground tanks offered online in the first quarter of 2023 [12]

Pomimo tych różnic, brak wyraźnego trendu wzrostowego ceny w funkcji objętości może być zaskoczeniem. Taki wyraźny trend, widać natomiast w przypadku zbiorników z tworzyw sztucznych, co przedstawiono na rysunku 4. Po przeliczeniu cen zbiorników na jeden litr objętości uzyskujemy znacznie większe koszty w przypadku podziemnych zbiorników z tworzyw sztucznych (rys. 5) w porównaniu ze zbiornikami żelbetowymi (rys. 6). Na rysunku 5 widać, że cena retencjonowania 1 litra wody deszczowej w zbiornikach z tworzyw sztucznych nie



Rys. 5
Ceny podziemnych zbiorników z tworzyw sztucznych oferowanych w Internecie w pierwszym kwartale 2023 roku w przeliczeniu na jeden liter retencjonowanej wody
Fig. 5 Prices of underground plastic tanks offered online in the first quarter of 2023 recalculated per one liter of retained water

wykazuje żadnego wyraźnego trendu, co potwierdza bardzo mały współczynnik determinacji R^2 .

Kolejnym możliwym rozwiązaniem jest wykorzystanie skrzynek rozsączających. Ich zaletą jest łatwa infiltracja do gruntu. Ponadto, są dostępne rozwiązania z kanałami dla przejazdu kamery inspekcyjnej TV. W celu ochrony przed zasypaniem skrzynki owija się geowłókniną. Przykładowo, koszt jednej skrzynki STORMBOX 1200mm x 600mm x 300mm wynosi 134 zł netto (165 zł brutto), co daje koszt w przeliczeniu na 1 liter 0,76 zł. Do tego dochodzi koszt wentylacji i prac ziemnych. Tak więc skrzynki rozsączające mogą być cenowo konkurencyjne dla podziemnych, jak również naziemnych zbiorników z tworzyw sztucznych, ale są jednak droższe od zbiorników żelbetowych.

Można również porównać cenowo zbiorniki żelbetowe z drenażem francuskim, gdy spełnia on również funkcję retencyjną, a nie tylko przepływową. Aktualne ceny żwiru w pierwszym kwartale 2023 roku w kraju mieszczą się w granicach 93-116

widując koszty prac ziemnych należy uwzględnić głębokość wykopów zakładając typową wysokość zbiornika ok. 2,0 m oraz podsypki żwirowej 0,2 m. Wysokość komina zbiorników żelbetowych wynosi zazwyczaj od 0,5 m do 1,5 m. Drenaż francuski może być założony w znacznie płytszych wykopach, ale objętości usuniętej ziemi są większe z uwagi na to, że dla retencji wykorzystana będzie jedynie objętość porów. Nasiąkliwość żwiru nie zwiększa retencyjności, gdyż żwir namokły pod ziemią nie podeschnie do następnego deszczu. Podsumowując przeprowadzoną analizę, można stwierdzić, iż najtaniej jest magazynować wodę deszczową w dużych podziemnych zbiornikach żelbetowych. Drenaż francuski powinien być stosowany tam, gdzie konieczne jest rozsączanie wody i również jest rozwiązaniem stosunkowo tanim w porównaniu ze zbiornikami z tworzyw sztucznych. Objętości wykopów przy drenażu francuskim są większe, ale nie jest konieczne stosowanie tak dużych głębokości. Głębokość wykopów może być limitowana przez skali-

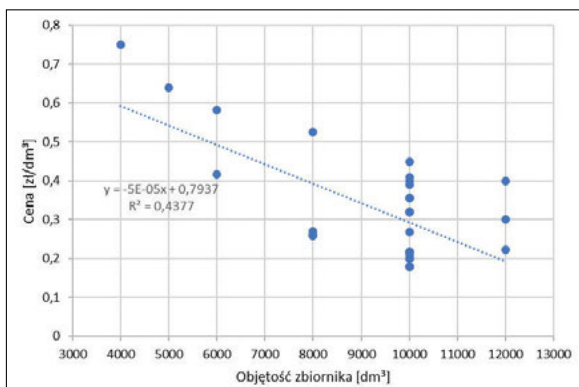
ste podłoże. Natomiast dowieszenie na miejsce dużych zbiorników żelbetowych może być kłopotliwe, a w niektórych przypadkach niemożliwe. W przypadku infrastruktury szarej, zapewne rozsączanie i retencję najlepiej jest rozplanować w postaci hybrydowych układów dużych zbiorników żelbetowych i drenażu francuskich. Przedstawione tutaj koszty zbiorników i żwiru do drenażu francuskich stanowią jedynie część kosztów całkowitych inwestycji służącej magazynowaniu, albo rozsączaniu wody deszczowej.

W niektórych warunkach zabudowy rowy otwarte i przepuszczalne chodniki/parkingi są jeszcze tańszą alternatywą [10] do zbiorników retencyjnych i drenażu francuskich.

Koszty zielonej infrastruktury

Pomimo znacznego potencjału oraz coraz większej świadomości co do konieczności przeciwdziałania skutkom zmian klimatu, zielona infrastruktura nadal nie jest w wystarczający sposób zbadana oraz wykorzystywana w Polsce, stąd również trudności w oszacowaniu rzeczywistych kosztów z nią związanych. W publikacji [7] szczegółowo omówiono elementy błękitno-zielonej infrastruktury wraz z szacunkowymi kosztami ich realizacji i eksploatacji. Przedziały cenowe kosztów budowy przykładowych elementów infrastruktury w przeliczeniu na 1 m² przedstawiono na rysunku 7.

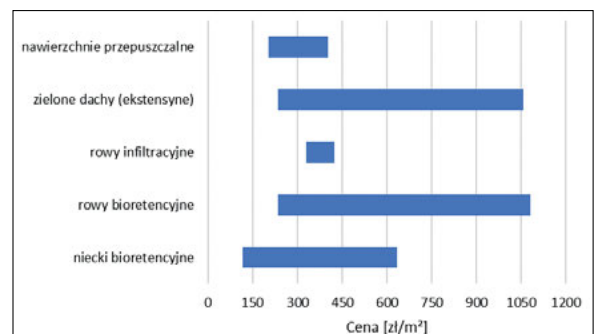
Jak widać, rozrzut cenowy realizacji 1 m² zarówno rowów i niecek bioretencyjnych jest spory, na co mają wpływ miejsce zastosowania jak również warunki gruntowo-wodne. Podobnie, w przypadku zielonych dachów widoczny rozrzut cenowy wynika z rodzaju zastosowanej konstrukcji, jak również rodzaju roślinności. Wykonanie zielonego dachu ekstensywnego jest tańsze niż dachu intensywnego, który posiada znacznie grubszą warstwę substratu i jest porośnięty bardziej różnorodną roślinnością. Dla dachu intensywnego podano [7] jedynie dolną granicę cenową na poziomie ok. 700 zł/m².

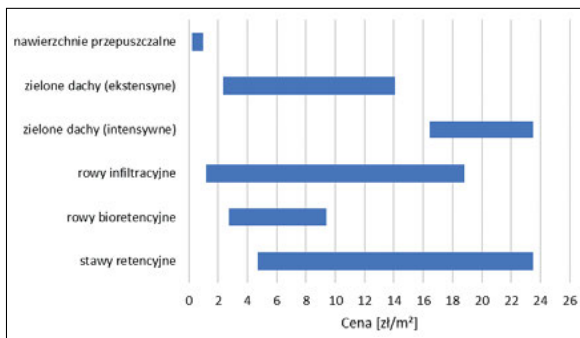


Rys. 6
Cena podziemnych zbiorników żelbetowych oferowanych w Internecie w pierwszym kwartale 2023 roku w przeliczeniu na jeden liter retencjonowanej wody
Fig. 6 Price of underground reinforced concrete tanks offered on the Internet in the first quarter of 2023 recalculated per one liter of retained water

zł/tonę, a w Krakowie średnia cena to 109 zł/tonę. Jeden metr suchego żwiru waży około 1,7 tony a mokrego około 2 tony. Porowatość żwiru jest większa od piasku. Przyjmując bezpiecznie tę porowatość jako równą 0,4, dla żwiru mokrego, w Krakowie cena jednego litra retencji wynosi około 0,55 zł/dm³. Jak widać, retencjonowanie wody w żwirze bez kosztów geowłókniny i prac ziemnych jest droższe od retencjonowania jej w zbiornikach żelbetowych. Prze-

Rys. 7
Szacunkowy przedział kosztu budowy 1 m² infrastruktury zielonej na podstawie [7]
Fig. 7 Estimated range of construction cost of 1 m² of green infrastructure according to [7]





Rys. 8
Szacunkowy przedział cenowy rocznego kosztu utrzymania 1 m² infrastruktury zielonej na podstawie [7]
Fig. 8 Estimated price range of the annual cost of maintaining 1 m² of green infrastructure according to [7]

Najmniejszy rozrzut cenowy wykazują rowy infiltracyjne i są one zarazem jednym z tańszych w budowie rozwiązań zielonej infrastruktury.

Na wybór metody retencjonowania wód deszczowych mają również wpływ koszty utrzymania infrastruktury zielonej. Wśród wymienionych w publikacji [7] elementów infrastruktury zielonej najniższe koszty eksploatacji charakteryzują nawierzchnie przepuszczalne, dla których rozrzut cenowy jest również najniższy, a koszt ten według publikacji [7] nie przekracza 1 zł w skali roku. Znacznie wyższe koszty budowy i utrzymania zielonych dachów podano w opracowaniu [6]. Podobnie jak w przypadku konstrukcji zielonego dachu, znacznie niższe koszty utrzymania związane są z dachem ekstensywnym niż intensywnym, który wymaga kilkakrotnie większych nakładów finansowych związanych z pielęgnacją roślinności.

Należy mieć na uwadze, że koszty zielonej infrastruktury do retencjonowania, albo przynajmniej opóźniania odpływu wód deszczowych z powierzchni zlewni zależą, tak jak w przypadku infrastruktury szarej, od wielkości inwestycji. Dla zbiorników infrastruktury szarej, jest to zależność od ich objętości, a dla infrastruktury zielonej od obsługiwanej powierzchni zlewni. Tak więc, koszt ten zależy od tego ile razy większa jest powierzchnia działki, z której odprowadzana jest woda deszczowa od powierzchni tej infrastruktury.

Takiej możliwości odprowadzenia wód deszczowych z powierzchni większej od powierzchni infrastruktury zielonej nie ma w przypadku zielonych dachów. Ponadto, wysokość opadu, który można w ten sposób retencjonować jest ograniczona. Dlatego też, zielone dachy powinny być traktowane jako estetyczny sposób retencji, w przypadku budynków, dla których ważny jest prestiżowy wygląd.

Kolejną problematyczną kwestią w odniesieniu do zielonych dachów jest ich utrzymanie i pielęgnacja. W przypadku, w którym, w budynku znajdują się mieszkania z zielonymi tarasami/stropodachami można spodziewać się, że właściciele mieszkań będą dbać o zieleń. Natomiast inna sytuacja występuje w nawiązaniu do zapisu rozporządzenia Ministra Infrastruk-

tury z dnia 12.05.2002 roku (Dz.U. z 2015 r. poz. 1422 z późniejszymi zmianami). Zgodnie z nim, do zabudowy biologicznie czynnej przypisano 50% powierzchni dachów zielonych, stropodachów i innych powierzchni przeznaczonych pod wegetację roślinną o powierzchni nie mniejszej niż 10 m². Deweloperzy korzystając z tego zapisu zagęszczali zabudowę bez podpisania umowy służebności zobowiązującej ich, a później właściciele mieszkań, do utrzymania na tych powierzchniach wegetacji roślinnej. Tak więc, sprzedawana była większa powierzchnia mieszkalna, która nie jest obciążona służebnością i nikt nie ma obowiązku prawnego utrzymania na tej powierzchni roślinności.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej uproszczonej analizy finansowej elementów szarej i zielonej infrastruktury sformułowano następujące wnioski:

1. Zbiorniki na deszczówkę ustawiane na powierzchni terenu pod rynnami po przeliczeniu na 1 liter retencji są znacznie droższe od zbiorników zagłębionych pod terenem. Estetyka wykonania jest istotnym elementem kształtującym cenę tych zbiorników, ale wyraźnie koszt retencjonowania jednego litra objętości jest niższy w zbiornikach o dużej objętości.
2. Retencjonowanie jednego litra w dużych zbiornikach podpowierzchniowych z tworzyw sztucznych jest znacznie tańsze dla zbiorników większych. Podziemne zbiorniki z tworzyw sztucznych są droższe niż zbiorniki żelbetowe o tej samej objętości.
3. Żelbetowe zbiorniki podpowierzchniowe są dostępne w różnych odmianach oraz w przeznaczeniu tylko dla wód deszczowych lub na wody deszczowe i szamba. Ponadto, zbiorniki te są różnie zbrojone z uwagi na różne zagłębienia. To zróżnicowanie powoduje znacznie mniej widoczne uzależnienie cen tych zbiorników od ich objętości w porównaniu ze zbiornikami z tworzyw sztucznych.
4. Koszty jednostkowej powierzchni infrastruktury zielonej do retencjonowa-

nia wód deszczowych maleją wraz ze wzrostem całkowitej powierzchni. Zielone dachy, obok rowów bioretencyjnych są inwestycyjnie najdroższym sposobem retencjonowania wód deszczowych. Ponadto, zgodnie z obecnym stanem prawnym pomimo tego, że połowa powierzchni dachów zielonych wliczana jest do powierzchni biologicznie czynnej nikt nie ma obowiązku podpisywania umowy służebności, jak idzie o utrzymanie na tych powierzchniach zabudowy roślinnej.

LITERATURA

- [1] Błaszczak P., Strategia rozwoju miejskich systemów kanalizacyjnych w dostosowaniu do wymagań Dyrektywy Unii Europejskiej 91/271/EEC w sprawie oczyszczania ścieków z terenów urbanizowanych oraz II Konwencji Helsińskiej, IV Kongres Kanalizatorów Polskich, POLKAN 99, Łódź, 8-10 listopada 1999, 77-86
- [2] Dąbrowski W., Kaniewska M., Dąbrowska B., Tendencje w zużyciu wody, Gospodarka Wodna, 2013, 11, 437-442
- [3] Dąbrowski W., McGarity A., Attempt to standardize rainwater retention by green infrastructure, Instal, 2022, 6, 49-52 DOI 10.36110/15.2022.6.7
- [4] Dąbrowski W., Wpływ sieci kanalizacyjnych na środowisko, książka akademicka, Politechnika Krakowska, 2004, str. 218 (ISBN 83-7242-306-7)
- [5] Gleick P.H., Allen L., Cooley H., Christian-Smith J., Heberger M., Morrison J., Polaniappan M., Schelte P., The World's Water, 2007, Volume 7, The Biennial Report on Freshwater Resources, Island Press, Washington, Covelo, London, 2011
- [6] The real cost of green infrastructure, Stormwater report, Water Environment Federation, <https://stormwater.wef.org/2015/12/real-cost-green-infrastructure/>, December 2, 2015.
- [7] Iwaszczuk E., Rudik G., Duin L., Mederake L., Davis M., Naumann S., Wagner I., Błękitno-zielona infrastruktura dla łagodzenia zmian klimatu – katalog techniczny, Ecologic Institute i Fundacja Sendzimira, 2019
- [8] McGarity A., Dąbrowski W., Racjonalne i optymalne rozmieszczenie infrastruktury zielonej na terenach zurbanizowanych, Instal, 2019, 12, 44-47; DOI 10.36110/15.2019.12.6
- [9] Skiklomanov I.A., A summary of the monograph World Water Resources, State Hydrological Institute, St. Petersburg, the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, 1998
- [10] Uribe C.H.A., Brenes J.R.B., Hack J., Potential of retrofitted urban green infrastructure to reduce runoff – A model implementation with site-specific constraints at neighborhood scale, Urban Forestry & Urban Greening, 13 pp. (1)
- [11] Vorosmarty C.J., Green P., Salisbury J., Lammers R.B., Global water resources: vulnerability from climate change and population growth, Science, 2000, 289, July 14, 284-288
- [12] Materiały informacyjno-reklamowe dostępne na stronach internetowych: <https://www.amargo.pl/>; <https://aquatechnika.com.pl/>; <https://biocent.com.pl/>; <https://www.cetel-hurtownia.pl/>; <https://www.domiwoda.pl/>; <https://impet.net.pl/>; <http://kruszywakrakow.com.pl/>; <https://polskiekruszywo.pl/>; <https://www.probud.pl/>; <https://www.sklep-instalgrunt.pl/>; <http://stakopbud.pl/kruszywa-krakow/>; <https://www.uponor.com/pl-pl/>; <https://waterspec.pl/> ■