

Ewa SUCHANEK-GABZDYL

University of Bielsko-Biala, Department of Environmental Protection and Engineering, Willowa 2,
43-309 Bielsko-Biala, Poland

ORCID / e-mail:
0000-0002-7204-4390 / esuchanek@ath.bielsko.pl

Projekt koncepcyjny systemu zagospodarowania wód opadowych dla osiedla jednorodzinnego

Słowa kluczowe:

woda opadowa, infiltracja, retencja, zbiornik

Conceptual design of a rainwater management system for a single-family housing

Keywords:

rainwater, infiltration, retention, reservoir

Abstract

The aim of the research was to create a draft concept for the management of rainwater from the area of a single-family housing estate through the use of retention and infiltration systems with the possibility of collecting rainwater on the surface or under its surface. These systems include: a storage reservoir, an absorbent trough, a rain garden, an infiltration basin, drainage boxes and root boxes. All devices have been designed in such a way that they harmonize with each other and create an extensive system of blue and green infrastructure, without overloading the sewage network. The amount of rainwater was also calculated and the planned devices were designed and dimensioned.

The devices located in the estate were arranged in such a way that they could intercept water from every part of the drained area. They can hold a total of nearly 46.5 m³ of water at the same time. This gives a very high efficiency of operation in terms of protection of surface waters and retaining them at the place of their formation. Thanks to such a high absorbency of the devices used, the estate is able to work like a sponge.

The accumulated water from the drained catchments is mostly drained directly into the soil profile. This has a positive effect on maintaining the appropriate quality and high level of groundwater. Water, infiltrating into the ground through drainage layers, undergoes natural pretreatment, limiting the migration of organic and mineral micro-pollutants. The applied infiltration allows to increase the efficiency of groundwater intakes without reducing their level excessively, and its maintenance is necessary to ensure an appropriate composition of these waters. Oxygenated water infiltrating the aquifer, which contains iron and manganese compounds, can oxidize sulphides to sulphates and dissolve ferric and manganese sulphates. This means an increase in costs and an extension of the purification and treatment process of the abstracted waters.

The planned infiltration and retention system is of a landscape nature. It is related to the shape and development of the land surface and the directions of its use. At the same time, the systems used do not take up much space on the ground surface, give the impression of being natural, thanks to which the area around the buildings has become more attractive in terms of aesthetics and functional.

1. WSTĘP

Miasta są szczególnymi obszarami pod względem gospodarki wodnej. Ze stosunkowo niewielkich powierzchni generowane są nieproporcjonalnie wysokie objętości i szczytowe natężenia spływu. Dodatkowo charakteryzują się one znaczącym zanieczyszczeniem, które bardzo negatywnie oddziałuje na naturalne odbiorniki wodne. Wody opadowe trafiają do odbiorników wprost z wylotów kanalizacji deszczowej oraz w mieszaninie ścieków komunalnych z przelewów burzowych [Mrowiec 2020].

Jednym z podstawowych narzędzi służących ochronie ilości i jakości wód odprowadzanych z terenu zlewni jest uwzględnienie potrzeb wykonywania rozwiązań technicznych pozwalających zwiększyć retencję wód opadowych w miastach. Zasadne jest zastosowanie zbiorników retencyjnych, a następnie powolne odprowadzenie wody do sieci kanalizacji deszczowej lub ogólnospławnej. Gdy warunki gruntowo-wodne na to pozwalają, powinno się stosować zbiorniki retencyjno-rozsączające, rezygnując z wykorzystania sieci kanalizacji lub traktując ją jako odbiornik przelewu awaryjnego. Rozsączanie wody przyczynia się do odbudowy warstw wodonośnych i uzupełnia niedobory wód gruntowych, często nadmiernie eksploatowanych. Zabezpiecza też sieci kanalizacji zewnętrznej przed przeciążeniem wodą deszczową. Wpisuje się to w tzw. koncepcję „miasta-gąbki”. Wzrost infiltracji opadów atmosferycznych do gruntu i w konsekwencji wzrost retencji wód podziemnych (przy jednoczesnym zmniejszeniu spływu powierzchniowego wód opadowych) nie tylko przyczynia się do zwiększenia zasilania podziemnego rzek, ale też do wyrównywania odpływu rzeczno-rogowego w ciągu roku, co istotnie eliminuje głębokie niżówki i łagodzi skutki suszy oraz obniża wezbrania rzeczne.

Celem badań było zaprojektowanie systemów urządzeń retencyjno-infiltracyjnych na potrzeby lokalnego zagospodarowania wód opadowych na terenie osiedla jednorodzinnego.

2. SYSTEMY DO LOKALNEGO ZAGOSPODAROWANIA WÓD OPADOWYCH W ZLEWNIACH ZURBANIZOWANYCH

Zagadnienie wody deszczowej na terenach mniej lub bardziej zurbanizowanych jest złożone i należy je rozpatrywać w szerokim kontekście. Podejście zrównoważone i zintegrowane zarządzania wodą musi kłaść nacisk na kwestie wody w aspekcie całej zlewni – procesów naturalnych i antropogenicznych. Zatem kwestie wody opadowej i jej spływu powinny koncentrować się na wykorzystywaniu naturalnych procesów takich jak: infiltracja, retencja czy ewaporacja [Rosiek 2016].

Wybór pojedynczych urządzeń bądź kombinacji urządzeń do lokalnego zagospodarowania wody opadowej jest bardzo duży. Przy doborze należy wziąć pod uwagę: dostosowanie do warunków lokalnych (rodzaj gruntu zalegającego w podłożu, głębokość występowania wód gruntowych, stopień uszczelnienia powierzchni, sposób użytkowania terenu), możliwości finansowe wdrożenia, możliwość zapewnienia odpowiedniej eksploatacji urządzeń oraz zachowanie wymaganych odległości od obecnej infrastruktury i budynków.

W badaniach skupiono się na zagospodarowaniu wód opadowych z terenu osiedla jednorodzinnego i w związku z tym najmniejszymi jednostkami zagospodarowania przestrzennego były: dach, osiedlowy parking oraz teren zielony wokół osiedla. W takim przypadku możliwości techniczne projektowanych urządzeń do odwodnienia ograniczają się do niżej opisanych systemów.

2.1. Urządzenia do zamierzonej retencji wód opadowych

Urządzenia do retencji wód opadowych służą do ich gromadzenia bez możliwości przesiąknięcia w podłoże. Zasada gromadzenia wód opadowych w **zbiornikach retencyjnych** polega na utrzymywaniu odpowiedniej pojemności do gromadzenia wody ze zdławionym odpływem. Kluczową rolę pełni uszczelnione dno zbiornika, uniemożliwiająca infiltrację w głąb gruntu [Geiger i Dreiseitl 1999].

2.2. Urządzenia infiltracyjne z retencją na powierzchni terenu

Układy te charakteryzują się wsiąkaniem wody deszczowej czasowo zgromadzonej w danym zagłębieniu terenu. Istotne jest odpowiednie zwymiarowanie tego typu urządzenia, aby spiętrzenie było krótkotrwałe (w odwrotnym przypadku istnieje ryzyko uszczelnienia powierzchni) [Geiger i Dreiseitl 1999].

Mulda chłonna to liniowe zagłębienie terenu porośnięte roślinnością spowalniającą odpływ wody. Ze względu na konstrukcję muldy i możliwość czasowego zgromadzenia wody należy dobierać rośliny dobrze znoszące okresowe zalewanie [Lejcuś i in. 2017].

Ogród deszczowy funkcjonuje podobnie jak mulda chłonna. Projektuje się go w taki sposób, aby mógł pełnić funkcję dekoracyjną. Głównym zadaniem ogrodu deszczowego jest zagospodarowanie wód opadowych, oczyszczenie ich z zanieczyszczeń z powierzchni nieprzepuszczalnych i infiltracja w głąb gruntu [Słyś 2013].

2.3. Urządzenia infiltracyjne bez retencji na powierzchni terenu

Bezpośrednie odprowadzenie do gruntu wód opadowych na obszarach miejskich jest najprostszym i najbardziej ekonomicznym rozwiązaniem. W tym celu wykorzystuje się powierzchniowe urządzenia umożliwiające infiltrację wód deszczowych. Istnieją także urządzenia umożliwiające infiltrację wód oraz ich czasowe magazynowanie [Słyś 2013].

Niecka infiltracyjna jest urządzeniem przeznaczonym do wchłaniania i biologicznego oczyszczania wód opadowych [Wojciechowska i in. 2015].

2.4. Urządzenia do infiltracji wód opadowych z retencją podziemną

Natężenie przepływu wód opadowych może znacząco przekroczyć przepustowość hydrauliczną systemów kanalizacyjnych, urządzeń infiltracyjnych oraz cieków będących odbiornikami. W takich przypadkach istnieje możliwość transformacji niekorzystnego odpływu wód w bardziej korzystny, tj. o mniejszym natężeniu i dłuższym czasie trwania, dzięki zgromadzeniu wody pod powierzchnią gruntu [Słyś 2013]. Urządzenia te, współpracując ze sobą wzajemnie, mogą stanowić powiązane układy kombinowane, niejednokrotnie umożliwiające efektywne zagospodarowanie zebranych wód, np. do celów gospodarczych [Geiger i Dreiseitl 1999].

Skrzynki rozsączające są podziemnymi urządzeniami, charakteryzującymi się lekką i ażurową konstrukcją wykonaną z polipropylenu. Mają one za zadanie umożliwić wsiąkanie wody w głąb profilu glebowego. Systemy rozsączania zapewniają czasowe zatrzymanie wody deszczowej w podziemnym zbiorniku zbudowanym z modułów w postaci skrzynek lub tuneli.

Skrzynki korzeniowe to system prostopadłościennych modułów wykonanych z tworzywa sztucznego, które tworzą rusztowanie dla korzeni drzew i przenoszą obciążenia komunikacji drogowej. Są one wypełnione mieszanką gleby i substratu. Charakteryzują się optymalnymi właściwościami wodno-powietrznymi dla prawidłowego rozwoju i funkcjonowania korzeni drzew. Głównym celem tego typu urządzeń jest zmagazynowanie wody opadowej

i roztopowej wokół drzew. Z układów tych woda, po wystąpieniu opadu, jest absorbowana w sposób kontrolowany przez korzenie drzew [Lejcuś i in. 2017].

3. ZAKRES BADAŃ

Badania obejmowały opracowanie koncepcji systemu zagospodarowania wód deszczowych z obszaru osiedla jednorodzinne. Woda opadowa została zagospodarowana w miejscu jej powstania (dach, teren zielony i plac parkingowy) poprzez zastosowanie następujących systemów:

- infiltracyjnego (skrzynki rozsączające, skrzynki korzeniowe),
- retencyjnego (zbiornik retencyjny),
- retencyjno-infiltracyjnego (mulda chłonna, ogród deszczowy, niecka infiltracyjna).

Zaprojektowane systemy stworzyły błękitno-zieloną infrastrukturę (ang. *blue-green infrastructure*) i mają za zadanie przejęcie, retencję lub rozsączenie wody deszczowej za każdym razem, gdy warunki gruntowo-wodne na to pozwalają. Każdy z systemów został zaprojektowany w sposób uniemożliwiający przeciążenie układu, działając indywidualnie bądź jako rozwiązanie zespolone, nie generując dodatkowych obciążeń dla istniejącego systemu kanalizacyjnego.

Badany obszar to kompleks szeregowo połączonych budynków jednorodzinnych z garażami. Na zajmowanej powierzchni znajduje się 7 budynków z prywatnymi, wygrodzonymi ogródkami. W badaniach posłużono się określeniem „zlewnia”, oznaczającym: teren zielony, dach oraz parking. Poszczególne zlewnie posiadają powierzchnie umożliwiające zebranie i zagospodarowanie wód opadowych poprzez zastosowanie odpowiednich systemów (naziemnych i podziemnych). Projekt ten nie uwzględnia podłączenia żadnego z tych urządzeń do istniejącej kanalizacji deszczowej. Wynika to z założeń projektowych, mających na celu odciążenie systemu kanalizacji i przede wszystkim odprowadzenie zebranej wody deszczowej w głąb gruntu bezpośrednio w miejscu jej wystąpienia.

4. PARAMETRY WEJŚCIOWE

4.1. Cechy zlewni

Badania rozpoczęto od rozpoznania warunków lokalnych w każdej zlewni (dachu, parking, terenu zielonego). Określono następujące parametry (Tab. 1):

- powierzchnia,
- spadek,
- współczynnik infiltracji,
- sposób użytkowania terenu.

Tab. 1. Charakterystyka analizowanych zlewni.

Tab. 1. Characteristics of the analyzed catchments.

Zlewnia	Parametr			
	Powierzchnia F [m ²]	Spadek i [%]	Współczynnik infiltracji k _f [m/s]	Sposób użytkowania
Teren zielony	2972,8	5	10 ⁻⁵	ogólnodostępna część rekreacyjna
Dach	466,0	20	–	–
Parking	3070,0	5	–	miejsca postojowe dla mieszkańców i ich gości

4.2. Obliczenia ilości wód

Ilość wody opadowej obliczono na podstawie wzoru Błaszczyka [Błaszczyk 1974]. Dopływ wód wyliczono według formuły:

$$Q = \Psi \cdot q \cdot \varphi \cdot F$$

gdzie:

- Q – ilość wód opadowych [dm³/s],
- Ψ – współczynnik spływu powierzchniowego,
- q – natężenie deszczu [dm³/(s·ha)],
- φ – współczynnik opóźnienia,
- F – powierzchnia zlewni [ha].

Natężenie deszczu obliczono w oparciu o wzór Błaszczyka [Błaszczyk 1974] w następującej postaci:

$$q = \frac{6,631 \cdot \sqrt[3]{H^2 \cdot C}}{t^{0,667}}$$

gdzie:

- t – czas trwania deszczu [min],
- H – opad średni roczny [mm],
- C – liczba lat przypadająca na jedno zdarzenie o natężeniu q.

4.3. Warunki gruntowo-wodne

Do prac koniecznych przed przystąpieniem do projektowania zalicza się przeprowadzenie badań hydrogeologicznych, które mają na celu określenie warunków gruntowo-wodnych na badanym terenie. W ich zakresie należy przeprowadzić rozpoznanie położenia maksymalnego poziomu zwierciadła wód gruntowych, rodzaje gruntów oraz ich współczynniki filtracji. Systemy przeznaczone do infiltracji wód deszczowych powinny być wykonywane w gruntach o współczynniku infiltracji k_f w granicach od 10^{-3} do 10^{-5} m/s. Grunty o mniejszych współczynnikach niż 10^{-5} m/s charakteryzują się długim czasem wsiąkania lub też częściową bądź całkowitą nieprzepuszczalnością. Z kolei grunty o wysokich współczynnikach filtracji, tj. większych niż 10^{-3} m/s, cechują się szybkim przepływem wody w gruncie, co powoduje obniżoną sprawność oczyszczania wód w złożach gruntowych. Według wytycznych zaleca się zachowanie minimalnej odległości między dnem warstwy rozsączającej, a maksymalnym poziomem wody gruntowej, wynoszącej przynajmniej 1,5 metra. Głębokość ta zwykle jest wystarczająca, aby umożliwić oczyszczanie wód opadowych i ochronę wód podziemnych przed zanieczyszczeniem [Lejcuś i in. 2017].

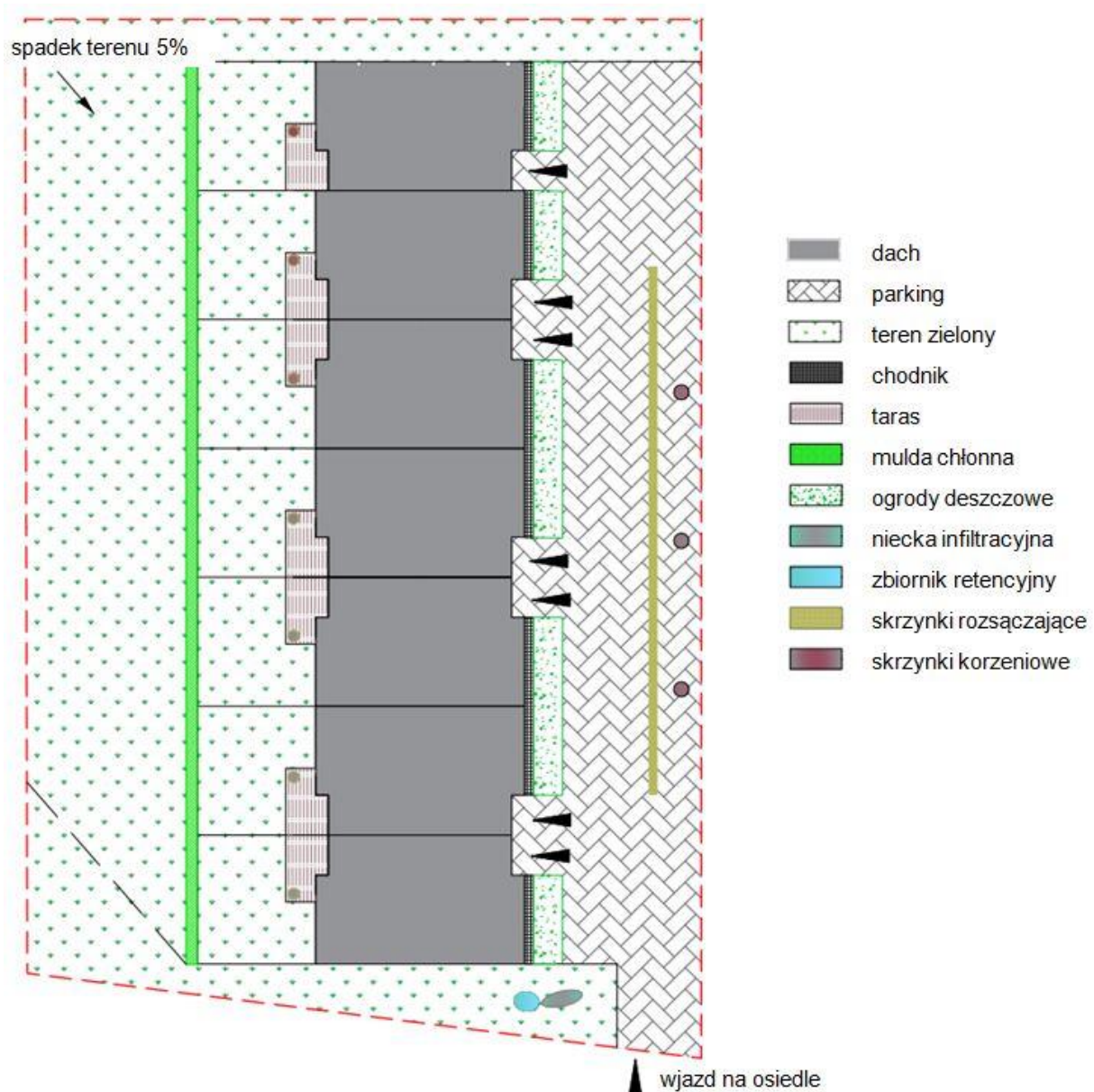
Poprzez zaprojektowane systemy odwadniające teren zielony oraz dachy, do ziemi wprowadzane będą niewymagające podczyszczenia wody opadowe. Wody podziemne zasilane będą głównie poprzez bezpośrednią infiltrację opadów atmosferycznych, a także infiltrację wód powierzchniowych. W przypadku systemów infiltracyjnych (skrzynki rozsączające) zastosowane zostanie podczyszczenie. Usuwanie zanieczyszczeń z zebranej wody deszczowej, takich jak związki ropopochodne, osady i metale ciężkie, jest konieczne zanim wody deszczowe zostaną rozsączone. W celu ochrony wód gruntowych stosuje się odpowiednie separatory cząsteczek substancji olejowych o wysokiej skuteczności oczyszczania. W ukła-

dzie całego systemu poprzedza się je osadnikiem, gdzie następuje zatrzymanie osadów, np. piasku, ziemi.

5. EFEKTY KONCEPCYJNE

Projekt zagospodarowania wód opadowych na osiedlu jednorodzinnym został wykonany w taki sposób, aby mógł spełniać podstawowe funkcje, tj. infiltrację, retencję, odciążenie istniejącej kanalizacji oraz ochronę wód powierzchniowych i gruntowych.

Wszystkie zaplanowane na terenie osiedla urządzenia współpracują ze sobą i tworzą układ błękitno-zielonej infrastruktury. Układ ten złożony jest z muldy chłonnej, ogrodu deszczowego, niecki infiltracyjnej, zbiornika retencyjnego oraz skrzynek rozsączających i korzeniowych (Rys. 1).



Rys. 1. Rozmieszczenie systemów odprowadzających wody deszczowe na terenie osiedla rodzinnego.

Fig. 1. Distribution of rainwater drainage systems in the area of a family estate.

Mulda chłonna

Wody opadowe spływają grawitacyjnie zgodnie ze spadkiem – z terenu zielonego do muldy chłonnej z czasową retencją na jej powierzchni. Następnie infiltrują przez ożywioną (organiczną) warstwę gruntu. Na podstawie obliczeń stwierdzono, że przy występowaniu deszczu 45-minutowego, statystycznie co 2 lata, da się określić maksymalną pojemność muldy chłonnej, która wynosi $V_R = 14,15 \text{ m}^3$.

Ogród deszczowy

Wody opadowe spływają pionami spustowymi z powierzchni dachu wprost do ogrodu deszczowego z czasową retencją na jego powierzchni. Następnie infiltrują przez ożywioną (organiczną) warstwę gruntu. Na powierzchni ogrodu woda pozostanie jedynie bezpośrednio po wystąpieniu opadu. Dobry współczynnik filtracji oraz wielkość urządzenia zapewniają sprawne wchłanianie wody do urządzenia, dzięki czemu nie ma konieczności uwzględnienia ewentualnego odpływu wód, które mogłyby doprowadzić do przeciążenia systemu. W projekcie przewidziano siedem ogrodów deszczowych – po jednym dla każdego dachu. Każdy dach ma taką samą powierzchnię równą $466,0 \text{ m}^2$. Na podstawie obliczeń stwierdzono, że przy występowaniu deszczu 15-minutowego, statystycznie co 2 lata, da się określić maksymalną pojemność ogrodu deszczowego, która wynosi $V_R = 4,83 \text{ m}^3$.

Niecka infiltracyjna

Na terenie zielonym osiedla zaprojektowano jedną nieckę infiltracyjną, współpracującą ze zbiornikiem retencyjnym. Nieckę zaprojektowano na wypadek przeciążenia hydraulicznego zbiornika. Woda jest doprowadzona do niej ze zbiornika retencyjnego przelewem awaryjnym, kaskadowym. Przechwytuje ona także bezpośrednio wodę opadową w miejscu jej występowania, tj. z samej powierzchni niecki i jej nadbrzeża. Ilości wód dopływających spoza zbiornika do urządzenia nie zostały jednak uwzględnione w obliczeniach, przez wzgląd na ich niewielki wpływ na pracę i działanie układu. Woda infiltrująca przez nieckę zostanie odprowadzona do głębszych warstw profilu glebowego.

Wymiary i parametry niecki infiltracyjnej zostały dobrane tak, aby urządzenie mogło przechwycić nadmiar wody dopływającej do zbiornika retencyjnego. Wyniki obliczeń dowodzą, iż przepływająca woda przez przelew awaryjny zostanie przechwycona przez nieckę infiltracyjną o pojemności $1,58 \text{ m}^3$ i odprowadzona będzie w głębsze warstwy gruntu. Przy występowaniu deszczu miarodajnego o natężeniu $q = 85,53 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{h})$ i czasie trwania 30 minut, niecka infiltracyjna nie będzie zasilana wodą przepływającą przez przelew awaryjny ze zbiornika retencyjnego – przechwyci jedynie ilość wody bezpośrednio opadającą na jej powierzchnię. Czas zatrzymania wody w niecce nie powinien przekraczać 1 dnia, w ekstremalnych przypadkach 2 dni. W zaprojektowanym urządzeniu infiltracyjnym woda odpłynie w głąb profilu glebowego w czasie 100 minut, a więc system ten można ocenić jako efektywny i poprawnie zaprojektowany.

Zbiornik retencyjny

Element ten ma na celu gromadzenie objętości wody odpływającej grawitacyjnie z terenu zielonego, która nie trafia do muldy chłonnej. Założono, że woda w tym zbiorniku będzie magazynowana w sposób ciągły, uwzględniając jedynie minimalny odpływ do niecki infiltracyjnej. Na wypadek wystąpienia nawalnych opadów, zbiornik ten został wyposażony w przelew awaryjny – pełni on funkcję łącznika między zbiornikiem retencyjnym, a niecką infiltracyjną, która będzie w stanie przejąć ewentualny nadmiar wód.

Na podstawie obliczeń stwierdzono, że przy występowaniu deszczu 5-minutowego, statystycznie co 2 lata, da się określić maksymalną pojemność zbiornika retencyjnego

$V_R = 9,20 \text{ m}^3$ oraz pomniejszoną pojemność zbiornika o przelew awaryjny, wynoszącą $V_{RP} = 4,20 \text{ m}^3$. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że system ten, będący w układzie z niecką infiltracyjną, gwarantuje zagospodarowanie dopływającej wody bez możliwości przelania przez urządzenia.

Skrzynki rozsączające

System składa się z lekkich, ażurowych skrzynek rozsączających, pełniących funkcję sztucznej warstwy magazynująco-przepuszczalnej, przejmujących wodę z powierzchni parkingu. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że przy występowaniu deszczu krótszego niż 30-minutowy, statystycznie co 2 lata, system skrzynek rozsączających, który docelowo osiąga 71 m^3 , nie ma możliwości przeciążenia dopływem wód deszczowych.

Skrzynki korzeniowe

Na terenie osiedla przewidziano umiejscowienie rozwiązań magazynujących wodę wokół drzew. Znalazły one zastosowanie przy parkingu oraz na tarasach w prywatnych ogródkach. W przypadku drzew zaprojektowanych w pobliżu miejsc parkingowych skrzynki korzeniowe mają na celu zapobiegać ewentualnemu skompresowaniu substratu glebowego, zapewniając tym samym optymalne warunki rozwoju roślin. Ich zadaniem jest również ukierunkowanie wzrostu korzeni do głębszych warstw, zapobiegając uszkodzeniom nawierzchni parkingu. W przypadku skrzynek korzeniowych zainstalowanych w tarasie, mają one za zadanie przechwycić wodę opadową z nawierzchni tarasu. Woda zebrana w porowatej strukturze podłoża wsiąknie w głąb drenażu, skąd będzie pobierana przez korzenie roślin lub też będzie odprowadzona do głębszych warstw gruntu rodzimego. Dodatkowo systemy te posiadają zdolność usuwania zanieczyszczeń z doprowadzanych wód deszczowych w procesach fizycznych, chemicznych i biologicznych. Projekt uwzględnia zastosowanie łącznie dziesięciu skrzynek korzeniowych – siedmiu na prywatnych tarasach mieszkańców, w postaci tzw. mis z warstwą drenażu, a także trzy moduły antykompresyjne na parkingu.

6. PODSUMOWANIE

Urządzenia zlokalizowane na terenie osiedla są rozmieszczone tak, aby mogły przejąć wodę z każdej części odwadnianego terenu. Mają one możliwość pomieścić łącznie, w tym samym czasie, blisko $46,5 \text{ m}^3$ wody. Daje to bardzo dużą sprawność działania w aspekcie ochrony wód powierzchniowych oraz zatrzymania ich w miejscu powstawania. Dzięki tak wysokiej chłonności zastosowanych urządzeń teren osiedla wpisuje się w koncepcję „miasta gąbki”. Zgromadzona woda z terenu odwadnianych zlewni zostaje w większości odprowadzana bezpośrednio w głąb profilu glebowego. Wpływa to pozytywnie na utrzymanie odpowiedniej jakości i wysokiego poziomu wód gruntowych. Woda, infiltrując do gruntu przez warstwy drenażowe, ulega naturalnemu podczyszczaniu, co ogranicza migrację mikrozanieczyszczeń organicznych i mineralnych.

Istotną rolę odgrywa zastosowana roślinność, która wpływa na proces ewapotranspiracji. Polega on na odparowaniu wody z powierzchni roślin i poprzez ich metabolizm przyczynia się do poprawy jakości powietrza i mikroklimatu w obrębie opracowanego terenu oraz usprawnia odprowadzenie wody z urządzenia. Roślinność hydrofitowa posiada też zdolności pochłaniania i magazynowania zanieczyszczeń, w tym również metali ciężkich.

Zaplanowany układ infiltracyjno-retencyjny ma charakter krajobrazowy. Jest on związany z ukształtowaniem i zagospodarowaniem powierzchni terenu oraz kierunkami jego użytkowania. Zastosowane systemy nie zajmują dużo miejsca na powierzchni terenu i sprawiają wrażenie naturalnych, dzięki czemu teren wokół zabudowań stał się bardziej atrakcyjny pod względem estetycznym i funkcjonalnym.

LITERATURA

- Błaszczak W. 1974. Kanalizacja. Wydawnictwo Arkady Warszawa.
- Geiger W., Dreiseitl H. 1999. Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych – Poradnik. Oficyna Wydawnicza Projprzem–EKO, Zamość k. Bydgoszczy.
- Lejcuś K., Burszta-Adamiak E., Dąbrowska J., Wróblewska K., Orzeszyna H., Śpitalniak M., Misiewicz J. 2017. Katalog dobrych praktyk – zasady zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi pochodzącymi z nawierzchni pasów drogowych. Uniwersytet przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław.
- Mrowiec M. 2020. Retencja wód opadowych na terenach zurbanizowanych. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
- Rosiek K. 2016. Wody opadowe jako przedmiot gospodarowania. *Gospodarka w Praktyce i Teorii*, 3(44), 61–76.
- Słyś D. 2013. Zrównoważone systemy odwodnienia miast. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław.
- Wojciechowska E., Gajewska M., Żurkowska N., Surówka M., Obarska-Pempkowiak H. 2015. Zrównoważone systemy gospodarowania wodą deszczową. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.