

ASPEKTY EKOHYDROLOGICZNE

ANEKS IV

DO OPRACOWANIA

„KIERUNKI ROZWOJU I ZARZĄDZANIA

TERENAMI ZIELENI W KRAKOWIE NA LATA 2019–2030”

TOMASZ BERGIER

Kraków, grudzień 2016

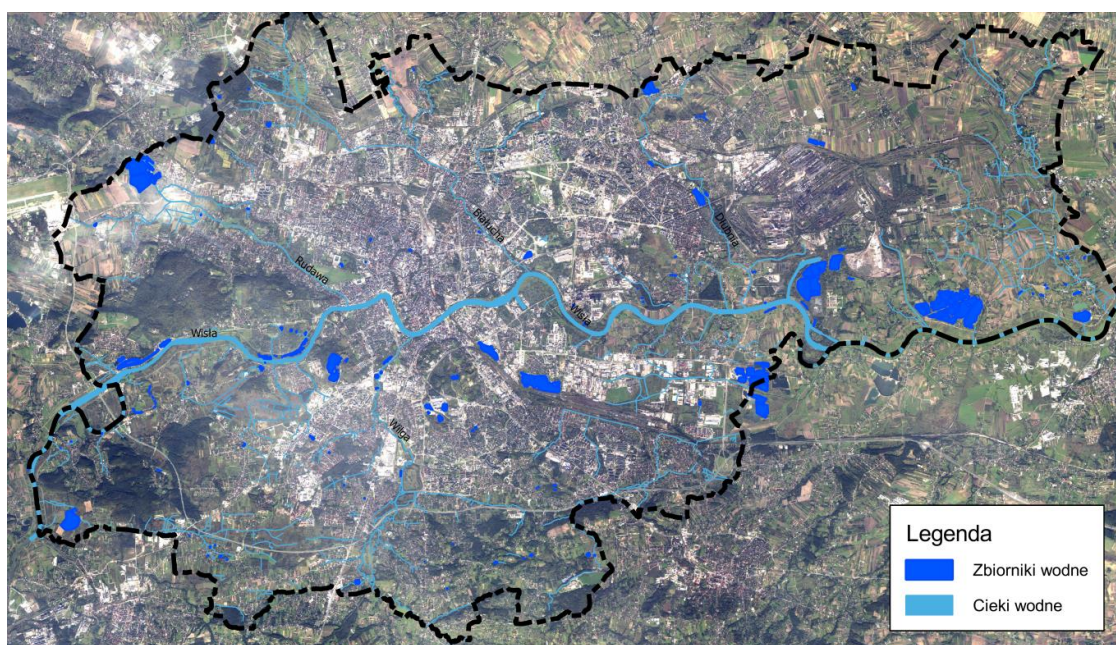
SPIS TREŚCI

1. INFORMACJE WSTĘPNE.....	3
1.1. SIEĆ HYDROGRAFICZNA KRAKOWA.....	3
1.2. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE KRAKOWA.....	6
1.3. WARUNKI METEOROLOGICZNE KRAKOWA.....	7
2. ZARZĄDZANIE WODAMI OPADOWYMI W KRAKOWIE.....	9
2.1. STAN OBECNY.....	9
2.2. REGULACJE.....	10
2.3. WYZWANIA	11
3. ZIELONA INFRASTRUKTURA.....	14
3.1. BŁĘKITNO-ZIELONE EKOSYSTEMY A GOSPODAROWANIE WODAMI OPADOWYMI	14
ODŚWIEŻANIE WODY	15
3.2. ROZWIĄZANIA ZIELONEJ INFRASTRUKTURY W GOSPODARCE WODAMI OPADOWYMI W KRAKOWIE.....	16
DACHY ZIELONE	16
OGRÓD DESZCZOWY W POJEMNIKU	19
OGRÓD DESZCZOWY W GRUNCIE	21
OGRÓD DESZCZOWY INFILTRUJĄCY DO GRUNTU	22
OCZYSZCZALNIA HYDROFITOWA O ZWIERCIADLE SWOBODNYM	24
PASAŻ ROŚLINNY.....	26
ZIELONA NIECKA CHŁONNA	28
NIECKA FILTRACYJNA.....	30
ZIELONY RÓW INFILTRACYJNY	31
INNE URZĄDZENIA DO POPRAWY RETENCJI I INFILTRACJI WÓD OPADOWYCH	33
GATUNKI ROŚLIN W ZIELONEJ INFRASTRUKTURZE W KRAKOWIE	34
3.3. INTEGRACJA ZIELONEJ INFRASTRUKTURY Z PRZESTRZENIĄ MIASTA.....	36
ZALECENIA OGÓLNE	36
PARKI I DOLINY CIEKÓW WODNYCH.....	36
DROGI I PARKINGI.....	38
BUDYNKI.....	39
3.4. ZALECENIA DODATKOWE	39
4. DOBRE PRAKTYKI I PRZYKŁADY.....	42
4.1. GREEN CITY, CLEAN WATERS, FILADELFIA, USA	42
4.2. RAINGARDENS, MELBOURNE, AUSTRALIA	44
4.3. HOHLGRABENÄCKER, STUTTGART, NIEMCY.....	45
4.4. AUGUSTENBORG, MALMÖ, SZWECJA.....	46
4.5. MARINA MOKOTÓW, WARSZAWA.....	47
5. PROPOZYCJE ROZWIĄZAŃ ZDECENTRALIZOWANYCH DLA WYBRANYCH OBSZARÓW W KRAKOWIE	48
5.1. PARK NA WOLI DUCHACKIEJ	48
5.2. MUZEUM NARODOWE W KRAKOWIE WRAZ Z OTOCZENIEM	54
SPIS I ŹRÓDŁA ILUSTRACJI	59
LITERATURA	62

1. INFORMACJE WSTĘPNE

1.1. Sieć hydrograficzna Krakowa

Kraków charakteryzuje się rozbudowaną i różnorodną siecią hydrograficzną, której osią jest rzeka Wisła. Jej długość w obrębie granic miasta wynosi 41,2 km. Do Wisły w obszarze miasta lub w jego bezpośrednim sąsiedztwie wpada aż 13 dopływów (najważniejsze z tych cieków II rzędu to Rudawa, Sanka, Wilga, Prądnik-Białucha, Dłubnia, Serafa). Sieć hydrograficzną miasta uzupełniają też kilka potoków (cieki III i IV rzędu). Wszystkie te cieki wraz z ich otoczeniem pełnią szereg bardzo ważnych funkcji, zarówno dla mieszkańców, jak i funkcjonowania miasta (przewietrzanie, korytarze ekologiczne, rekreacja, ruch pieszy i rowerowy, estetyka, bioróżnorodność). Stanowią one również odbiorniki oczyszczonych ścieków komunalnych i przemysłowych, a przede wszystkim wód opadowych (których ilość i znaczenie w kontekście zagrożeń podtopieniami i powodziami w ostatnich latach intensywnie rośnie). Z drugiej strony cieki powierzchniowe w Krakowie poddawane są olbrzymiej antropopresji (zmiany przebiegu koryt i ich obudowa/uszczelnianie, likwidacja/osuszanie, zanieczyszczenie wody, zabudowa pasa nadrzecznego, zmiana stosunków wodnych i głębokie zmiany użytkowania i pokrycia terenu w zlewni), która przyczynia się do ich degradacji, a także ograniczenia zdolności do pełnienia przez nie istotnych funkcji wspomnianych powyżej, zarówno przyrodniczych, jak i użytkowych. Sieć hydrograficzna została schematycznie zaprezentowana na poniższej mapie i zestawiono w tabeli, jednak szczegółowe informacje przestrzenne na jej temat znajdują się na Mapie 1 „Wybrane analizy i uwarunkowania hydrograficzne”, wchodzącej w skład części graficznej opracowania zasadniczego „Kierunki Zarządzania Terenami Zieleni Miejskiej w Krakowie na lata 2019–2030” („Kierunki...”).



Mapa sieci hydrograficznej Krakowa wraz ze zbiornikami wodnymi

TABELA. SIEĆ HYDROGRAFICZNA KRAKOWA

WISŁA	
Lewobrzeżne dopływy Wisły	Sanka, Rudawa, Białucha, Łęgówka, Dłubnia, Kanał Suchy Jar, Potok Kościelnicki
Prawobrzeżne dopływy Wisły	Skawinka, Sidzinka, Potok Kostrzecki, Potok Pychowicki, Wilga, Serafa, której odcinek ujściowy znajduje się poza Krakowem i Podłężanka
Dopływ Rudawy	Potok Olszanicki
Dopływy Wilgi	Dopływ spod Lasowic Cyrkówka, Pokrzywnica, Krzywica (Krzywa), Olszynka, dopływ ze Swoszowic (Potok Wróblowicki), dopływ w Kurdwanowie (Potok Siarczany), Rzewny (Urwisko), Młynny Kobierzyński
Dopływy Białuchy	Bibiczanka, Sudół, Sudół Dominikański (Rozrywka)
Dopływy Dłubni	Baranówka (Luborzycki Potok), Burzowiec (Kanał Południe)
Dopływy Serafy	Drwina Długa, Drwinka (Potok Bieżanowski) połączona z Potokiem Prokocimskim, Potok Malinówka
Dopływy Potoku Kościelnickiego	Dopływ spod Kocmyrzowa, Łucjanówka (Struga Rusiecka)

W Krakowie od lat rozwijane są programy ochrony cieków wodnych wraz z ich otoczeniem, ze względu na opisaną powyżej ich istotną rolę dla prawidłowego funkcjonowania miasta i jakości życia mieszkańców. Szczególnie istotna i kompleksowa jest koncepcja Parków Rzecznych, stworzona jeszcze w latach 1990. Została ona zaakceptowana przez władze miasta Krakowa, co odzwierciedlają zapisy szeregu dokumentów strategicznych, w tym kolejne studia uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego, a także Program ochrony środowiska dla miasta Krakowa na lata 2012-2015. Parki Rieczne stanowią również istotny element systemu zarządzania systemem terenów zieleni miasta Krakowa, opracowanego w ramach Kierunków. Kwestia ochrony i racjonalnego zagospodarowania Parków Rzecznych jest niezwykle istotna i pilna, gdyż poddawane są one olbrzymiej presji inwestycyjnej. Tymczasem dla prawidłowego ich funkcjonowania i efektywnego pełnienia wszystkich istotnych funkcji kluczowe jest zachowanie ich ciągłości. Szczegółowy opis koncepcji Parków Rzecznych zaprezentowano w „Kierunkach...”, w rozdziale II.1 opisano genezę i ewolucję tej idei, w rozdziale II.3 – jej obecność w miejskich dokumentach strategicznych, pojawiają się też liczne odniesienia do nich w rozdziale V, poświęconemu opracowanej koncepcji systemu terenów zieleni publicznej Krakowa. Wchodząca w skład części graficznej „Kierunków...” Mapa 10 „Stan zachowania ciągłości parków rzecznych” prezentuje zasięg przestrzenny Parków Rzecznych, a także ciągłość ścieżek i dróg, które umożliwiają się przemieszczanie pieszo i rowerem wzdłuż rzek. Na rysunku poniżej zaprezentowano natomiast schematyczną mapę zasięgu Parków Rzecznych Krakowa.



Mapa Parków Rzecznych Krakowa

Opisaną powyżej sieć hydrograficzną Krakowa uzupełniają zbiorniki wodne. Są to przede wszystkim starorzecza Wisły i/lub sztuczne zbiorniki wodne, z których najważniejsze to:

- Zakrzówek (ok. 17 ha) – sztuczny zbiornik, który powstał na skutek eksploatacji wapienia na potrzeby Zakładów Solvay, zasilany wodami z Wisły i wodami infiltrującymi.
- Ześlawice – zespół dwóch zbiorników retencyjnych na Dłubni.
- Zalew Nowohucki (ok. 7 ha) – zbiornik powstały w latach 50. XX wieku dla potrzeb rekreacyjnych, zlokalizowany w pasie zieleni ochronnej Nowej Huty.
- Przylasek Rusiecki – zespół zbiorników wodnych położonych w południowo-wschodniej części miasta (83 ha), powstałych po zakończeniu eksploatacji żwiru.
- Brzegi – wyrobiska żwiru w Przewozie (94 ha), częściowo wypełnione wodą.
- Zalew Bagry – największy pod względem powierzchni (22,9 ha) zbiornik wodny, powstał w wyniku zatopienia wyrobisk żwirowni.
- Staw Płaszowski (7,9 ha) – zbiornik powstały w miejscu dawnego wyrobiska gliny.
- Stawy Bonarka.
- Mydlniki – stawy hodowlane (18,4 ha) wraz ze zbiornikiem wody pitnej.
- Kąty Tynieckie – starorzecze Wisły, które powstało na skutek budowy stopnia wodnego „Kościeszko”.

Wszystkie te zbiorniki pełnią wiele funkcji społecznych (kąpieliska, łowiska, miejsca rekreacji i odpoczynku), jednak szczególnie istotna jest ich rola dla ochrony przyrody i bioróżnorodności, dlatego część z nich jest obecnie objęta różnymi formami ochrony przyrody lub planowane jest to w przyszłości. Szczegółowo te kwestie zostały opisane w Aneksie Ochrona przyrody.

1.2. Warunki hydrogeologiczne Krakowa

Na obszarze Krakowa warunki geologiczne, a co za tym idzie hydrogeologiczne, są bardzo skomplikowane. Występujące na terenie miasta poziomy wodonośne są związane z piętrami stratygraficznymi i występują w utworach dewońskich, jurajskich, kredowych, trzeciorzędowych i czwartorzędowych. Wody podziemne charakteryzują się zróżnicowanym składem chemicznym, dużą rozpiętością mineralizacji, jednak dominują wody twarde i bardzo twarde. Wody podziemne wykorzystywane są w bardzo ograniczonym stopniu do zaopatrzenia mieszkańców w wodę, a gospodarka wodna Krakowa bazuje na zasobach powierzchniowych. Jedyne istotniejsze ujęcie wód podziemnych znajduje się w Mistrzejowicach i pokrywa 1–2% całkowitego zapotrzebowania miasta. Znamienne jest występowanie w Krakowie zasobów wód mineralnych, które przyczyniły się do powstania uzdrowisk i zakładów wodoleczniczych (Mateczny Zdrój, Uzdrawisko Swoszowice). Rozważa się również eksploatację wód geotermalnych, szczególnie na potrzeby kąpieliska w Przylasku Rusieckim, gdzie dostępne są udokumentowane zasoby o temp. 40°C i wydajności 40–60 m³/h.

Z punktu widzenia opracowania KRZTZ, a także generalnie utrzymania zieleni miejskiej, szczególne znaczenie mają wody płytkie, podskórne, które są zasadniczym zasobem dla rozwoju drzew i innych rodzajów roślinności bytujących w mieście. Niestety w Krakowie, podobnie jak w innych miastach w Polsce i na świecie, obserwuje się negatywne zmiany w lokalnym obiegu wody. Na skutek urbanizacji i zabudowy następuje uszczelnianie powierzchni miasta, zmniejszenie powierzchni biologicznie czynnej. To wszystko powoduje znaczne zwiększenie udziału spływu powierzchniowego w lokalnym obiegu wody, kosztem zmniejszenia infiltracji wody do gruntu i jej parowania do atmosfery. Dominującą formą zagospodarowania wód deszczowych, nie tylko zresztą w Krakowie, jest odprowadzanie ich do kanalizacji miejskiej. To pogłębia negatywne zjawiska, woda jest błyskawicznie odprowadzana ze zlewni, a następnie odprowadzona do płynących wód powierzchniowych (za pośrednictwem oczyszczalni ścieków komunalnych czy też bezpośrednio). Tym samym odpływa do morza Bałtyckiego, czyli de facto jest bezpowrotnie tracona z lokalnego obiegu wody. Zjawiska te są również pogłębiane przez działania odwadniające związane z przygotowaniem terenu pod inwestycje. Wody podskórne są w trakcie wykonywania wykopów pod fundamenty odpompowywane i najczęściej odprowadzane w sposób analogiczny, jak opisany powyżej dla wód deszczowych. W przypadku większych, a zwłaszcza głębszych, inwestycji, lej depresji związanych z takimi działaniami może mieć znaczący rozmiar, zarówno w płaszczyźnie horyzontalnej (sięgając nierzadko poza obręb działki inwestora), jak i w pionie, czyli głębokości depresji, przyczyniając się do dalszego obniżania poziomu płytkich wód podziemnych.

Kompleksowy pomiar poziomu płytkich wód na terenie całego miasta nie jest zagadnieniem łatwym. Tym bardziej, że monitoring wód podziemnych skupia się na wodach głębszych, które mają większe znaczenie gospodarcze i dla zaopatrzenia w wodę ludności. Dlatego trudno zaprezentować przekrojowe wyniki badań, jednak szereg źródeł literaturowych i bezpośrednich obserwacji potwierdza, że w wielu obszarach Krakowa nastąpiło obniżenie poziomu wód gruntowych. Manifestuje się to również zanikaniem małych cieków i zbiorników wodnych (np. kamieniołom w Mydlnikach), czy spadkiem poziomu wód w zbiornikach powierzchniowych, którego ekstremalnym przypadkiem jest, szeroko ostatnio dyskutowana w mediach, sprawa ucieczki wody ze Stawu Płaszowskiego. Była ona właśnie efektem działań odwadniających, przeprowadzonych w celu rozpoczęcia inwestycji (skądinąd najprawdopodobniej nieracjonalnych i nie mających uzasadnienia technicznego). Kolejnym przykładem zaburzenia stosunków wodnych są Łąki Nowohuckie, na których obserwuje się obniżanie poziomu wód, co skutkuje utratą bioróżnorodności i zmianami ich charakteru. Łąki te są one przykładem

najbardziej przyrodniczo cennych obszarów w Krakowie – łąk zmiennowilgotnych, dla funkcjonowania których niezakłócone stosunki wodne i poziom wód gruntowych ma szczególne znaczenie.

1.3. Warunki meteorologiczne Krakowa

Położenie Krakowa na południu Polski warunkuje wpływ klimatu kontynentalnego na warunki klimatyczne miasta. Średnia roczna temperatura wynosi 8,7°C, minimalna dotychczas zaobserwowana wartość to 6,3°C (1940 r.), a najwyższa 11,0°C (2000). Średnia roczna suma godzin słonecznych wynosi 1523, z tym, że obserwowano wartości od 1067 (1980) do 1919 (1943). Średnie roczne sumy opadów w Krakowie wynoszą 650–700 mm i są wyższe od średniej krajowej. Parametr ten charakteryzuje się dużą zmiennością – największa zaobserwowana w mieście wartość to 999,9 mm (1919), a najniższa 448,4 mm (1993). Na obszarze Krakowa przeważają wiatry zachodnie i południowo-zachodnie, rzadziej występują wschodnie i północno-wschodnie, a najrzadziej południowo-wschodnie i południowe. Średnia prędkość wiatru to 1,9 m/s. Charakterystyczne dla Krakowa są silne bodźce wynikające z szybkich i silnych zmian pogody (temperatury, ciśnienia atmosferycznego, siły wiatru). Jednak szczególnie charakterystyczne dla Krakowa jest niekorzystne połączenie warunków lokalizacyjnych, meteorologicznych i szeregu innych, powodujących ograniczone przewietrzanie miasta i większą wrażliwość na zanieczyszczenie powietrza.

Obowiązujące scenariusze zmian klimatycznych (IPCC) przewidują dalsze zmiany klimatu Krakowa i pogorszenie niekorzystnych zjawisk (tabela poniżej), m.in. zwiększenie średniej temperatury powietrza, znaczne zwiększenie temperatur maksymalnych i usłonecznienia, a co za tym idzie ilości dni z temp. >25°C, jak również wzrost zagrożenia deszczami ulewnymi (zwiększone ryzyko występowania podtopień i powodzi miejskich), przy jednoczesnym wydłużeniu się okresów bezdeszczowych (pogorszenie mikroklimatu miasta, występowanie wyspy ciepła). Zapobieganie skutkom zmian klimatu jest zagadnieniem złożonym i kompleksowym, jednak w wielu opracowaniach i dokumentach strategicznych, błękitno-zielone ekosystemy są wskazywane jako istotna i skuteczna składowa programów i działań zwiększania odporności miast i terenów zurbanizowanych na efekty zmian klimatu.

Powyższa tematyka stanowi zasadniczy przedmiot zainteresowania niniejszego Aneksu Ekohydrologicznego. W rozdziale 2 zaprezentowano model zarządzania wodami opadowymi stosowany w Krakowie oraz najważniejsze wyzwania stojące przed miastem w tym zakresie. W rozdziale 3 szczegółowo omówiono rolę terenów zieleni miejskiej oraz uzupełniających ją rozwiązań infrastruktury zielonej w tworzeniu zrównoważonego modelu gospodarowania wodą opadową w przestrzeni miejskiej. W rozdziale 4 pokazano dobre praktyki i przykłady rozwiązań tego typu ze świata i z Polski. Natomiast w rozdziale 5 zaprezentowano koncepcje realizacji tego typu systemów dla dwóch typów obszarów w Krakowie, reprezentujące parki miejskie i obszary zurbanizowane, o dużym stopniu uszczelnienia.

TABELA. ŚREDNIE WARTOŚCI PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH DLA MIASTA KRAKOWA
 NA PODSTAWIE DANYCH RZECZYWISTYCH ZE STACJI KRAKÓW–BALICE
 I DANYCH MODELOWANYCH (SCENARIUSZ A1B IPCC)

Parametr	Dane rzeczywiste		Scenariusz A1B	
	1991-2000	2001-2010	2011-2020	2021-2030
Średnia roczna temperatura, °C	8,54	8,75	7,41	8,14
Liczba dni z Tmin < 0°C	62	63	90	82
Liczba dni z Tmax > 25°C	44	52	16	27
Dł. okresu wegetacyjnego, dni	228	235	225	227
Maksymalny opad dobowy, mm	58,0	64,0	57,8	49,6
Średnia roczna suma opadów, mm	668,8	718,7	827,3	801,1

2. ZARZĄDZANIE WODAMI OPADOWYMI W KRAKOWIE

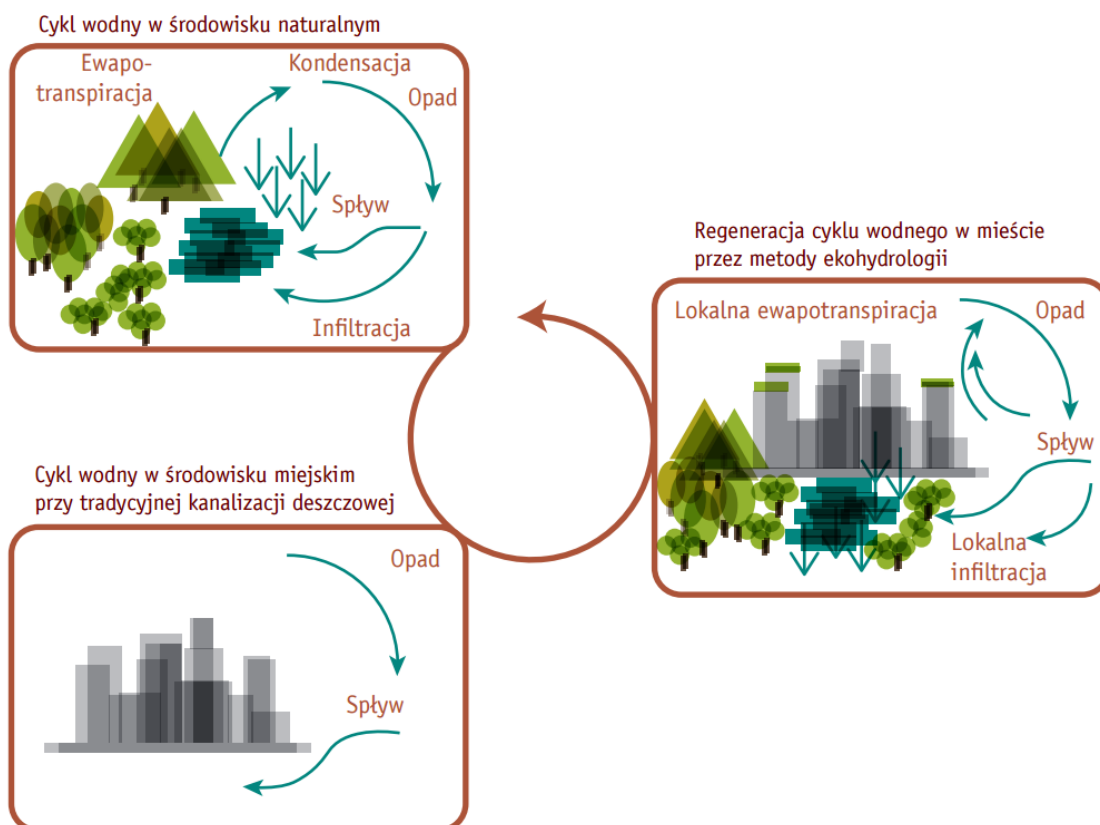
2.1. Stan obecny

Wody deszczowe w Krakowie, podobnie jak w znakomitej większości miast w Polsce i na świecie, stanowią jedno z najważniejszych wyzwań gospodarki komunalnej. Procesy urbanizacyjne powodują zabudowanie coraz większego odsetka powierzchni miasta, rośnie udział nawierzchni nieprzepuszczalnych, kosztem powierzchni zielonych i biologicznie czynnych. Dodatkowym problemem jest dominujący paradygmat w podejściu do wód deszczowych, zwłaszcza chęć ich błyskawicznego odprowadzenia ze zlewni miejskiej, jako niepożądanych, przeszkadzających w funkcjonowaniu miasta. Oczywiście taka logika ma sens w przypadku wybranych obszarów, pełniących szczególne funkcje (np. drogi i infrastruktura komunikacyjna), jednak stosowana jest powszechnie, a jak najszybsze odprowadzenie wód deszczowych z wszelkiego rodzaju terenów miejskich stało się zasadniczym zadaniem gospodarki wodami deszczowymi. To wszystko powoduje głębokie zmiany w bilansie wody, spadającej w formie opadu atmosferycznego na zlewnię miejską. Jak ilustruje to lewa górna część rysunku poniżej, woda pochodząca z opadu, w przypadku naturalnego pokrycia terenu, jest głównie retencjonowana na powierzchni i w wierzchnich warstwach gleby, ulega odparowaniu i transpiracji przez rośliny, a także infiltracji w głąb profilu glebowego i zasila zasoby wód podziemnych, tylko niewielki jej procent ulega odpływowi powierzchniowemu (10–15% opadu, a w przypadku bujnej roślinności i zalesień nawet mniej). W zlewni miejskiej, o charakterystyce opisanej powyżej, sytuacja diametralnie się zmienia, jak ilustruje to lewa dolna część rysunku poniżej. Znakomita większość wody opuszcza zlewnię w formie spływu powierzchniowego (50–70% opadu, a w zlewniach mocno uszczelnionych nawet do 90%), a jedynie pozostała, niewielka część ulega ewapotranspiracji i infiltracji. To wszystko powoduje sukcesywne obniżanie się poziomu wód gruntowych i podziemnych, zjawisko znane pod nazwą suszy miejskiej. Brak wody w krajobrazie powoduje, że rośliny, w tym zwłaszcza drzewa, cierpią na niedostatek wody, chorują i rozwijają się wolniej. Co z kolei zmniejsza zdolności zieleni miejskiej do pełnienia funkcji w gospodarce wodami deszczowymi, zatrzymania ich w obrębie zlewni na drodze intercepcji, retencji w strefie korzeniowej, ewapotranspiracji wynikającej z procesów życiowych drzew i innych roślin. Nadmierne odwodnienie miasta, obniżanie ilości i poziomu wód gruntowych, poza powyżej opisanymi powodami, pogłębiane jest przez działalność inwestycyjną, zwłaszcza budowlaną, która wiąże się z intensywnym, niejednokrotnie nieracjonalnym i przeszacowanym, odwadnianiem związanym z przygotowaniem terenu pod inwestycje.

Niedostatki wody w przestrzeni miejskiej to jeden aspekt przemian obiegu wody w krajobrazie miasta Krakowa. Drugim, być może jeszcze bardziej uciążliwym, jest jej nadmiar. Paradoksalnie, te same mechanizmy, które decydują o brakach wody w krajobrazie miejskim, powodują, że mamy problemy z jej nadmiarem. Woda deszczowa, błyskawicznie odprowadzana ze zlewni, trafia do odbiorników, którymi są najczęściej rzeki i inne cieki. Powoduje to silne wahania poziomu wody w rzekach, szybkie wzrosty ilości przepływającej wody, co generuje zagrożenia powodziowe. W przypadku długotrwałych i/lub nawalnych deszczy zrzuty wody deszczowej z wielu obszarów miasta (również z miast położonych w górze biegu rzeki) powodują intensyfikację tych zjawisk, kumulację fali powodziowej.

W Krakowie dominuje system kanalizacji ogólnospławnej, w którym ścieki deszczowe odprowadzane są razem ze ściekami bytowymi i trafiają na końcowe oczyszczalnie ścieków. Takie rozwiązanie jest szczególnie wrażliwe na uszczelnianie zlewni, a zwłaszcza na duże ilości wód deszczowych, które dopływają na oczyszczalnię ścieków komunalnych, powodując problemy eksploatacyjne (konieczność

przyjęcia dużo większych ilości ścieków niż w okresach bezdeszczowych, zaburzenia procesów oczyszczania mechanicznego i biologicznego ścieków). W mieście występują też podtopienia związane z ograniczeniami fizycznej przepustowości kanalizacji, konieczność zrzutów burzowych mieszanki ścieków deszczowych i komunalnych do środowiska. Oddzielna kanalizacja deszczowa jest dużo lepszym rozwiązaniem, zwłaszcza z punktu widzenia gospodarki ściekami komunalnymi i eksploatacji centralnych oczyszczalni ścieków. Jednak również w takim przypadku, występują problemy z podtopieniami i cofkami.



Przekształcenia obiegu wody na skutek zmian urbanistycznych i różnych modeli gospodarowania wodami opadowymi

2.2. Regulacje

W Krakowie świadomość problemów opisanych w powyższym podrozdziale jest wysoka. Władze i instytucje miejskie starają się wprowadzać regulacje i rozwiązania zmierzające do poprawy modelu gospodarowania wodami deszczowymi. Przede wszystkim wykorzystywane są narzędzia prawa lokalnego, zwłaszcza te wynikające z przepisów planowania przestrzennego. I tak Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego Miasta Krakowa (szerzej omówione w rozdziale II.3 „Kierunków...”) dla terenów przeznaczonych pod zabudowę w strefie kształtowania systemu przyrodniczego miasta zakłada, że musi być zapewniony wysoki udział powierzchni biologicznie czynnej (min. 40% dla terenów usługowych i przemysłowych, 50–70% dla pozostałych), a także wysoka jakość rozwiązań w zakresie gospodarki wodno-ściekowej. W ślad za powyższymi zapisami Studium, pojawiają się odpowiednie regulacje w miejscowych planach zagospodarowania

przestrzennego (MPZP), z których najważniejsze to obowiązek utrzymania stosownego procenta powierzchni biologicznie czynnej zabudowywanej działki, dopuszczanie możliwości stosowania na dachach nawierzchni urządzonej jako terenu biologicznie czynnego, szereg regulacji dotyczących ochrony przyrody i bioróżnorodności.

Instytucje eksploatujące sieci kanalizacyjne na terenie miasta również wprowadzają regulacje zmierzające do uporządkowania gospodarki wodami deszczowymi, zmniejszenia ilości tych wód odprowadzanych do kanalizacji, a w szczególności ograniczenia zrzucania ich dużych ilości w krótkim czasie (zjawisko charakterystyczne dla uszczelnionej, zabudowanej zlewni miejskiej, opisane w poprzednim podrozdziale). Na etapie uzyskiwania warunków zabudowy inwestor musi m.in. uzyskać zgodę na podłączenie do kanalizacji i ustalić warunki odprowadzania ścieków. W przypadku planowanego odprowadzania ścieków do kanalizacji ogólnospławnej, warunki te nakłada Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji, a w przypadku kanalizacji rozdzielczej zwykle Zarząd Infrastruktury Komunikacyjnej i Transportu. Jednak ograniczenia te są zazwyczaj spójne w obu tych przypadkach, na ogół wydaje się inwestorowi pozwolenie na odprowadzenie z działki wód opadowych w ilości maksymalnej, odpowiadającej 10% ilości wód, które spadają na działkę w formie opadu atmosferycznego. Ten wymóg ma głębokie uzasadnienie praktyczne (dla eksploatacji sieci kanalizacyjnej i oczyszczalni końcowej), ale również hydrologiczne, gdyż taka wielkość odpływu wód deszczowych jest zbliżona do ilości, która odpłynęłaby w przypadku naturalnego pokrycia działki roślinnością, czyli przepis ten poniekąd przywraca naturalny obieg wody.

Od wielu lat funkcjonuje w Krakowie program małej retencji wód opadowych, którego celem jest ochrona zasobów wodnych miasta, zwłaszcza zatrzymanie i wykorzystanie wody deszczowej w miejscu jej powstawania, a tym samym ograniczanie jej odpływu do rzek. Jednym z narzędzi programu jest wsparcie finansowe dla instalowania urządzeń realizujących powyższe cele. Budżet tego programu na 2016 rok wynosi 500 000 zł, a pojedynczy beneficjent może uzyskać dotację w wysokości do 5000 zł (nie więcej niż 50% realnych kosztów). W praktyce rozwiązaniem najczęściej finansowanym z tego programu wydają się być zbiorniki do magazynowania wód deszczowych i ich ponownego wykorzystania (np. do podlewania ogrodu lub na inne cele).

2.3. Wyzwania

Pomimo wprowadzenia szeregu regulacji, opisanych w poprzednim podrozdziale, gospodarka wodą deszczową w Krakowie wymaga dopracowania i zrównoważenia, a negatywne trendy dominują nad pozytywnymi zmianami (jak opisano to w podrozdziale 2.1 niniejszego Aneksu). Jednym z powodów takiego stanu wydają się być problemy z egzekucją opisanych powyższej przepisów i regulacji. Duża „kreatywność” inwestorów z jednej strony, a niedostateczna kontrola w terenie z drugiej, powodują, że część z zapisów nie jest w pełni respektowana.

Największym wyzwaniem jest pełne wykorzystanie narzędzi planowania przestrzennego. Pomimo opisanych powyżej regulacji w tym zakresie, sensownych zapisów w MPZP, tereny biologicznie czynne w mieście kurczą się, następuje zagęszczenie zabudowy mieszkaniowej, w niektórych dzielnicach Krakowa dzieje się to na bardzo szeroką skalę (co opisano szerzej w „Kierunkach...”). Inwestorzy i deweloperzy znajdują sposoby na ominięcie lub nagięcie regulacji planowania przestrzennego (np. wielokrotne dzielenie działek, w celu zachowania formalnego zapisu o odsetku powierzchni biologicznie czynnej, czy zmiany w zakwalifikowaniu terenu). Poza tym opracowanie MPZP jest procesem długotrwałym, a presja inwestycyjna na najwartościowsze tereny (czyli najczęściej te w sąsiedztwie obszarów cennych przyrodniczo, zielonych) jest olbrzymia. Inicjatywą, która w tym

kontekście, jest szczególnie cenna i trafiona to decyzja o sporządzeniu miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego dla wybranych obszarów przyrodniczych miasta Krakowa (więcej szczegółów – Ogłoszenie Prezydenta Miasta Krakowa z dnia 24 listopada 2016 r. w tej sprawie). Generalnie niezbędne jest uszczelnienie przepisów lokalnego planowania przestrzennego, poprawa kontroli nad ich egzekucją i pokrycie MPZP jak największej części miasta. Jest to kluczowe nie tylko dla gospodarowania wodą deszczową, ale również dla prawidłowej ochrony i zarządzania terenami zieleni miejskiej (dlatego szerzej opisano to w „Kierunkach...”), generalnie dla zrównoważonego rozwoju miasta Krakowa. MPZP można wykorzystać również do wprowadzania zapisów, promujących bardziej zaawansowane rozwiązania zdecentralizowanej gospodarki wodami deszczowymi (dobrą praktyką w tym zakresie są zapisy MPZP dla Wilanowa Zachodniego opisane w rozdziale III.5.4.7 „Kierunków...”).

Również omówione w poprzednim podrozdziale warunki związane z odprowadzaniem wód deszczowych do kanalizacji nie zawsze przynoszą spodziewane efekty. W praktyce inwestorzy wybierają najprostsze rozwiązanie, czyli zbiorniki o odpływie regulowanym (dławionym), które retencjonują wodę i odprowadzają ją do kanalizacji w dłuższym okresie czasu. Co oczywiście jest korzystniejsze niż odprowadzanie wód opadowych bez retencji (niejako „uderzeniowo”), ale nie przyczynia się do zwiększenia ilości wody poddawanej infiltracji czy odparowaniu, tak więc nie przyczynia się do rozwiązania większości problemów opisanych w podrozdziale 2.1. Poza tym, również w tym zakresie zdarzają się inwestorzy niezwykle „kreatywni”, unikający kosztów i zachodu (pojawiają się nawet takie kurioza, jak projekty zakładające instalowanie najprostszych zbiorników na wody deszczowe, których właściciele deklarują okresowe wywożenie ich zawartości).

Kolejnym wyzwaniem są działania związane z odwodnieniem przygotowującym teren pod inwestycje. W dokumentacji hydrogeologicznej i ocenach oddziaływania na środowiska, wpływ odwadniania na wody podziemne często jest oceniany bardzo optymistycznie, w większości przypadków zasięg leja depresji nie wykracza poza granice działki. Niestety praktyka często negatywnie weryfikuje te prognozy (głośna sprawa osuszenia Stawu Płaszowskiego jest tylko jednym z wielu przykładów). Dla ochrony zasobów wodnych, a szczególnie zachowania i poprawy stosunków wodnych, kluczowe jest zwiększenie kontroli nad sposobem planowania, a szczególnie prowadzenia tych procesów. W szczególności dotyczy to inwestycji na obszarach istotnych z punktu widzenia przyrody i bioróżnorodności Krakowa, a więc przede wszystkim w otoczeniu terenów cennych przyrodniczo (w tym Łąki Nowohuckie i inne łąki zmiennowilgotne), a także Parków Rzecznych i otoczenia zbiorników wodnych. Niezbędne jest uważne i szczegółowe kontrolowanie hydrologicznych aspektów wszystkich inwestycji planowanych na tych terenach (a nie tylko inwestycji wymagających oceny oddziaływania na środowisko). Kontrola ta powinna się już odbywać na początku procedury pozyskiwania niezbędnych pozwoleń. Inwestycje budowlane, które poprzez odwodnienie i odprowadzanie wód deszczowych mogą spowodować nadmierne obniżanie poziomu wód gruntowych i zmiany stosunków wodnych, powinny być poddane kontroli hydrogeologicznej (w tym weryfikacji obliczeń zasięgu leja depresji, a zwłaszcza realności prognoz jego nie wykraczania poza zasięg działki), a na etapie realizacji – kontroli terenowej, mającej na celu weryfikację stosowania zaleconych w pozwoleniu na budowę ochronnych środków technicznych (np. ścianki szczelne), a także sposobu prowadzenia i intensywności odwadniania. Rekomendowane jest również rozważenie wprowadzenia opłat za zrzut wód z odwadniania do kanalizacji miejskiej. Poza zaostrzeniem kontroli oraz uszczelnieniem i uszczegółowieniem opisanych powyżej regulacji, równoległe należałoby opracować system wsparcia dla inwestorów, zachęcania ich do poszerzania zestawu stosowanych rozwiązań i urzędzeń gospodarowania deszczówką, a przede wszystkim wprowadzenie rozwiązań, którym w dużej mierze

poświęcona jest dalsza część tego Aneks (przykłady konkretnych form wsparcia tego typu opisano szerzej w ostatniej sekcji podrozdziału 3.4).

Kolejnym wyzwaniem, przed którym stoi Kraków, podobnie jak większość miast w Polsce, jest wprowadzenie opłaty deszczowej. Jest to sprawa, wokół której narosło wiele nieporozumień, w większości nieracjonalnych, gdyż jest ona naturalną konsekwencją opisanych powyżej, bardzo złożonych problemów i wyzwań związanych z gospodarowaniem wodą deszczową. Większość uprzedzeń związanych z wprowadzeniem tej opłaty wynika z traktowania jej jako kolejnego podatku (w języku potocznym funkcjonuje nawet określenie „podatek od deszczu”), tymczasem jest to nieunikniona opłata eksploatacyjna, wynikająca z faktu, że wody deszczowe z nieruchomości (w tym z dachów) są odprowadzane do infrastruktury kanalizacyjnej, której tworzenie i utrzymanie związane jest z określonymi kosztami. Wprowadzenie opłaty za deszczówkę jest absolutnie racjonalnym rozwiązaniem i nie powinno budzić żadnych wątpliwości i oporów, oczywiście pod warunkiem, że uzyskane z niej środki będą wykorzystywane na cele gospodarki wodami deszczowymi, a nie przetrucane na inne potrzeby, czy do „łatania” dziur budżetowych na poziomie miasta lub kraju. Tego typu rozwiązania wprowadzane są na całym świecie, a opłaty uzależnione są od szacowanej ilości odpływu wód deszczowych z nieruchomości, albo – co jest łatwiejsze do kontroli i zweryfikowania – od ilości nieprzepuszczalnej powierzchni w jej granicach. Opłaty tego typu z jednej strony pozwalają sfinansować tworzenie i funkcjonowanie miejskiego systemu odprowadzania i zagospodarowania wód deszczowych w sposób bezpieczny dla środowiska i ludzi, z drugiej motywują finansowo inwestorów i właścicieli nieruchomości do tworzenia kompleksowych zdecentralizowanych rozwiązań zagospodarowania wód deszczowych, o minimalnym lub wręcz zerowym odpływie do kanalizacji (których praktyczne przykłady pokazano w rozdziale 4 niniejszego Aneksu).

Wszystkie opisane powyżej, szczegółowe wyzwania, przed którym stoi Kraków, mają nadrzędny cel, jakim jest wprowadzenie zasad nowoczesnej zintegrowanej gospodarki wodami deszczowymi, zgodnej z zasadami ekohydrologii i zrównoważonego rozwoju. Niezbędne jest przejście od modelu, w którym twarda infrastruktura jest główną, a często wręcz jedyną formą zagospodarowania wód deszczowych, do takiego, w której stanowi ona jedynie wsparcie dla kompleksowych rozwiązań, zmierzających do retencji wód deszczowych w zlewni, ich odparowania i infiltracji do gruntu, a szczególnie ponownego ich wykorzystania. W takim zrównoważonym modelu, twarda infrastruktura przejmuje jedynie niewielką część wód deszczowych, której nie udaje się zatrzymać w zlewni miejskiej. Dzięki czemu koszty inwestycyjne i eksploatacyjne są znacznie mniejsze, co wynika ze znacznie mniejszych przekrojów rur kanalizacyjnych i ograniczonej przepustowości wszystkich urządzeń, które przy obecnym modelu muszą być znacznie przeprojektowane, żeby przyjąć chwilowe maksymalne ilości wód deszczowych, a przez pozostały czas są wykorzystywane w niewielkim stopniu. Poza tym wprowadzenie zdecentralizowanych rozwiązań na obszarze całego miasta, poza zmianami w gospodarce wodami deszczowymi, ma również znaczenie dla wielu aspektów funkcjonowania miasta i jego zrównoważonego rozwoju. Systemy takie bazują głównie na rozwiązaniach zielonej infrastruktury, które dostarczają wiele korzyści, tzw. usług ekosystemów (szerzej opisanych w rozdziale V.1 „Kierunków...”). Dlatego w dalszej części niniejszego Aneksu Ekohydrologicznego skupiono się na kwestii zielonej infrastruktury, a w szczególności na możliwościach wprowadzania ich w krajobrazie Krakowa.

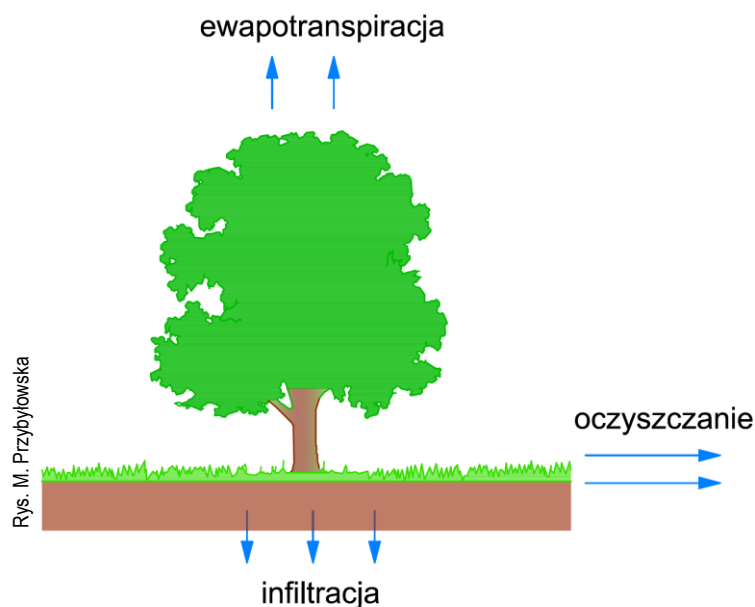
3. ZIELONA INFRASTRUKTURA

3.1. Błękitno-zielone ekosystemy a gospodarowanie wodami opadowymi

Zarówno naturalne ekosystemy, jak zielona infrastruktura, doskonale wpływają na gospodarkę wodami deszczowymi w mieście. Decyduje o tym szereg cech (rysunek poniżej), z których najważniejsze to:

- zdolność roślin do zatrzymania wody z opadu atmosferycznego, jeszcze przed jego spadnięciem na powierzchnię terenu (intercepcja),
- gromadzenie wody w strefie korzeniowej (retencja),
- pobieranie dużych ilości wody ze strefy korzeniowej i odparowanie ich do powietrza (ewapotranspiracja),
- odświeżanie wody i usuwanie z nich zanieczyszczeń, na skutek rozkładu lub pobierania przez rośliny (fitoremediacja).

Wszystkie powyższe właściwości powodują, że zielone systemy są doskonałym, wręcz niezbędnym, uzupełnieniem konwencjonalnych metod (twarda infrastruktura), na których bazujemy obecnie w zbyt dużym stopniu, a których ograniczenia powodują szereg problemów i uniemożliwiają kompleksowe rozwiązanie gospodarki wodami deszczowymi (opisano to szczegółowo w rozdziale 2 tego Aneksu). W połączeniu z szeroką gamą usług ekosystemów, dostarczanych przez zielone systemy, powoduje to, że są coraz chętniej wprowadzane i stosowane w miastach na całym świecie. Dodatkowym czynnikiem ich rosnącej popularności jest rola, jaką pełnią w ograniczaniu skutków zmian klimatu, generalnie ich potencjał do zwiększenia odporności miast w tym zakresie.



Wpływ roślinności na obieg wody

Wszystkie opisane powyżej funkcje najskuteczniej spełniają drzewa, zwłaszcza te rosnące w zwartych i wielkoobszarowych zbiorowiskach (przede wszystkim parki, lasy itp.). Dlatego należy dążyć do tworzenia tego typu ekosystemów, planowania ich w przestrzeni miasta, a istniejące obejmować ochroną i programami odnowy. Temu tematowi poświęcone jest w większości opracowanie „Kierunki...”, natomiast celem niniejszego Aneksu Ekohydrologicznego jest opisanie urządzeń zielonej infrastruktury, które mogą być wprowadzane w miejscach i przestrzeniach, w których absolutnie niemożliwe jest wprowadzanie zwartych nasadzeń lub założeń parkowych. Warto jednak pamiętać, że istnieją sposoby na wprowadzanie drzew również w miejscach, w których pozornie jest to niemożliwe, zwłaszcza w przypadku zieleni przyulicznej istnieją metody na wprowadzanie drzew w nawet bardzo wąskie pasy, przestrzenie mocno zagospodarowane i uszczelnione (przykłady poniżej). Podobne działania można i warto podejmować w centrach miast.



Fot. ZZM Kraków



Fot. SVR Design Company

Drzewa w donicach na ul. Rajskiej w Krakowie (po lewej). Drzewa w kamiennych misach, tworzących kaskadę zasilaną wodą z dachów, Seattle, USA (po prawej)

ODŚWIEŻANIE WODY

Jak wspomniano powyżej, ekosystemy oraz rozwiązania zielonej infrastruktury, oprócz przechwytywania, retencjonowania i infiltracji wód deszczowych, charakteryzują się dużą skutecznością w poprawie jakości tych wód. Szczególnie systemy mokradłowe mają dobre zdolności od oczyszczania wody (z tego powodu naturalne mokradła nazywane są nerkami świata). Pomimo prostej budowy urządzeń zielonej infrastruktury, zachodzące w nich mechanizmy oczyszczania wody są bardzo złożone i nie do końca poznane. Poza procesami mechanicznymi (filtracja, adsorpcja na wypełnieniu mineralnym) i chemicznymi (strącanie, absorpcja przez biofilm bakteryjny), ogromne znaczenie mają procesy biologiczne, zależne od bakterii, których duża różnorodność bytuje w strefie korzeniowej roślin. Najważniejszą rolą roślin w oczyszczaniu wody w tych systemach jest właśnie tworzenie odpowiednich warunków dla bakterii (zwłaszcza dostarczanie tlenu; wykształcenie rezosfery o różnym stopniu natlenienia, umożliwiającej bytowanie bakterii tlenowych i beztlenowych w niedalekim sąsiedztwie; powierzchnia dla rozwoju bakterii na korzeniach). Samo pobieranie przez rośliny ma mniejsze znaczenie w przypadku większości substancji (wyjątkiem są metale i metale ciężkie, które głównie podlegają biokumulacji). W tabeli poniżej przedstawiono skuteczność usuwania określonych zanieczyszczeń w wybranych urządzeniach, opisanych w dalszej części tego rozdziału. Niska

efektywność oznacza usuwanie zanieczyszczeń na poziomie 0–25%, średnia: 26–50%, dobra: 51–75%, a wysoka: 76–100%. Jak wynika z tej tabeli, urządzenia zielonej infrastruktury charakteryzują się wysoką efektywnością usuwania olejów i tłuszczów, co najmniej dobrą efektywnością usuwania zawiesiny ogólnej. W nieco mniejszym stopniu redukują związki biogenne. Zawartość węgla organicznego najmocniej redukują urządzenia do infiltracji, a zawartość bakterii najsukuteczniej obniżana jest w systemach bioretencyjnych. Wszystkie urządzenia zapewniają także usuwanie metali ciężkich. Generalnie zastosowanie rozwiązań zielonej infrastruktury do gospodarowania wodami opadowymi jest zatem szczególnie zalecane, gdyż pozwala na zmniejszenie ilości spływu wód opadowych i stężenia zawartych w nim zanieczyszczeń.

TABELA. EFEKTYWNOŚĆ USUWANIA ZANIECZYSZCZEŃ, NA PODST. (WAŁĘGA I IN., 2013)

System zagospodarowania wód opadowych	Efektywność usuwania zanieczyszczeń [%]						
	zawiesiny ogólna	fosfor ogólny	azot ogólny	metale ciężkie	bakterie	węgiel org.	oleje i tłuszcze
Oczyszczalnia hydrofitowa	dobra	dobra	średnia	średnia	dobra	niska	wysoka
Systemy bioretencyjne (ogrody deszczowe)	dobra	niska	średnia	wysoka	wysoka	dobra	wysoka
Niecka filtracyjna	wysoka	niska	średnia	dobra	niska	dobra	wysoka
Niecka chłonna, nawierzchnia przepuszczalna	wysoka	dobra	średnia	wysoka	b.d.	wysoka	wysoka

3.2. Rozwiązania zielonej infrastruktury w gospodarce wodami opadowymi w Krakowie

DACHY ZIELONE

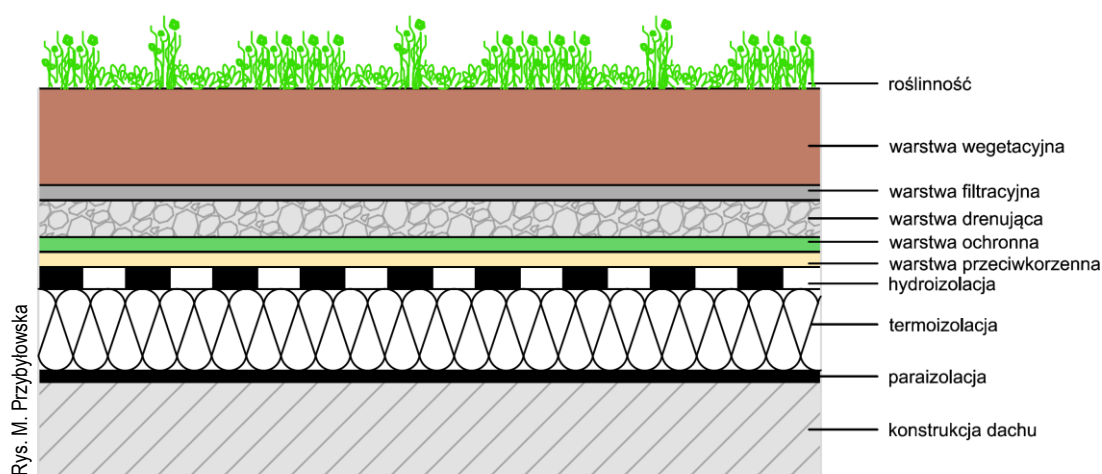
Zielony dach jest rozwiązaniem zielonej infrastruktury, polegającym na wprowadzeniu roślinności na powierzchnię dachu. Wyróżniamy dachy intensywne, które stanowią realizację idei ogrodu na dachu, mogą być obsadzone roślinami ozdobnymi, krzewami, a nawet drzewami oraz dachy ekstensywne o prostej konstrukcji i płytko korzeniącej się roślinności. Szczególnie te drugie, ze względu na niskie koszty instalacji oraz nieskomplikowane utrzymanie i niskie wymagania pielęgnacyjne, są efektywnym narzędziem rozwiązania problemu wód opadowych. Generalnie dzięki zastosowaniu dachów zielonych zmniejsza się ilość spływu wód opadowych z powierzchni dachów średnio o około 50%. W przypadku niewielkich deszczy ten odsetek może być znacznie mniejszy, w przypadku dachów o większej miąższości warstwy wegetacyjnej i filtracyjnej może w ogóle nie dochodzić do odpływu wody w przypadku opadów mniej intensywnych. Przy występowaniu deszczy nawalnych dachy zielone opóźniają spływ, przyczyniają się do rozciągnięcia fali odpływu w czasie, co ma szczególne znaczenia dla zapobiegania podtopieniom i przeciążeniom kanalizacji, a także dla ochrony przeciwpowodziowej.

Zielone dachy to idealne rozwiązanie wprowadzania zieleni w przestrzeń miejską, zwłaszcza w centrach miast i innych przestrzeniach intensywnie zabudowanych, gdzie możliwości wprowadzenia zadrzewień i zieleni parkowej są mocno ograniczone. Zielone dachy, poza poprawą gospodarki wodą deszczową, przyczyniają się do zwiększenia powierzchni biologicznie czynnych, minimalizacji efektu

miejskiej wyspy ciepła, lepszej izolacji budynków (zmniejszenie kosztów ogrzewania i klimatyzacji), poprawy bioróżnorodności i funkcjonowania ekosystemów miejskich (siedliskotwórczy charakter, zwłaszcza dla zapylaczy). Ze względu na wszystkie powyższe korzyści i powszechną dostępność powierzchni dachowych, zielone dachy powinny być rozwiązaniem bardzo powszechnym w polskich miastach. Biorąc pod uwagę jakość powietrza i inne problemy środowiskowe ograniczające jakość życia mieszkańców, powinno to być wręcz rozwiązaniem obligatoryjne lub chociaż mocno promowane. Tą drogą idzie wiele krajów i miast na świecie i w Europie. Np. Francja wprowadziła ustawy o obowiązkach instalacji dachów zielonych na powierzchni dachowej nowotworzonych centrów handlowych (ew. instalacji fotowoltaicznej). Kopenhaga ma nawet bardziej zaawansowaną regulację – istnieje tam obowiązek zazieleniania dachów na wszystkich nowopowstających budynkach (o dachach o spadku poniżej 30°), niezależnie od ich przeznaczenia. Dla właścicieli istniejących budynków istnieje system dopłat w przypadku zastępowania zielonym dachem istniejącego pokrycia. Podobne systemy dopłat lub innych form zachęcania inwestorów do instalacji zielonych dachów funkcjonują w wielu krajach. Np. Republika Czeska niedawno wprowadziła krajowy program dofinansowania instalacji dachów zielonych. Wprowadzenie podobnych inicjatyw powinno być również rozważone w Krakowie.

Ciekawym uzupełnieniem zielonych dachów i wzmocnieniem ich funkcji hydrologicznych, ekologicznych i użytkowych są coraz częściej stosowane zielone ściany i inne formy wertykalne, w tym również zielone ściany wewnętrzne.

Budowa



Zastosowanie

- Przechwytywanie wód deszczowych w miejscu występowania opadu, bezpośrednio na dachu budynku.

Działanie

- Retencja wód opadowych i zmniejszenie ich ilości (ewapotranspiracja).
- Zwiększenie powierzchni biologicznie czynnej, poprawa bioróżnorodności i połączeń ekologicznych wewnątrz miasta.

- Dostarczanie szerokiej gamy innych usług ekosystemów (poprawa izolacyjności termicznej i akustycznej budynku, zmniejszenie efektu wyspy ciepła, itp.).

Przykłady



Fot. P. Holubiec

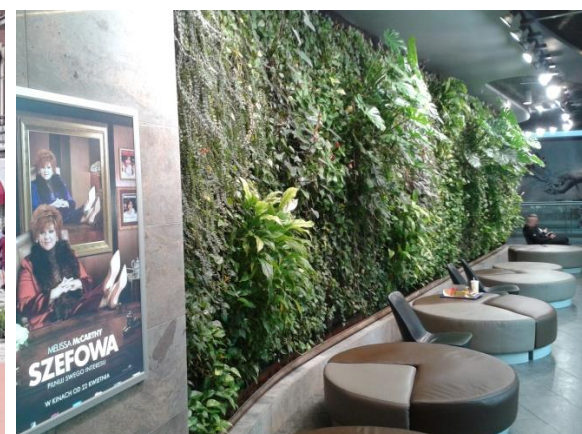


Fot. dachyzielone.net

Zielony dach intensywny na Bibliotece Uniwersytetu Warszawskiego (po lewej). Przykład ekstensywnego dachu – kompleks biurowy „Opolska Business Park” w Krakowie (po prawej)



Fot. T. Bergier



Fot. T. Bergier

Wolnostojąca zielona ściana w centrum Katowic (po lewej). Zielona ściana wewnątrz galerii handlowej w Nowych Sączu (po prawej)

Dodatkowe informacje

- Kania A., Mioduszewska M., Płonka P. i inni, Zasady projektowania i wykonywania zielonych dachów i żyjących ścian. Poradnik dla gmin. Stowarzyszenie Gmin Polska Sieć „Energie Cités”, Kraków 2013.
- Zielone dachy i żyjące ściany. Systemowe rozwiązania i przegląd inwestycji w polskich gminach. Stowarzyszenie Gmin Polska Sieć „Energie Cités”, Kraków 2014.
- Kowalczyk A., Zielone dachy szansą na zrównoważony rozwój terenów zurbanizowanych. Zrównoważony Rozwój — Zastosowania 2, 2011.

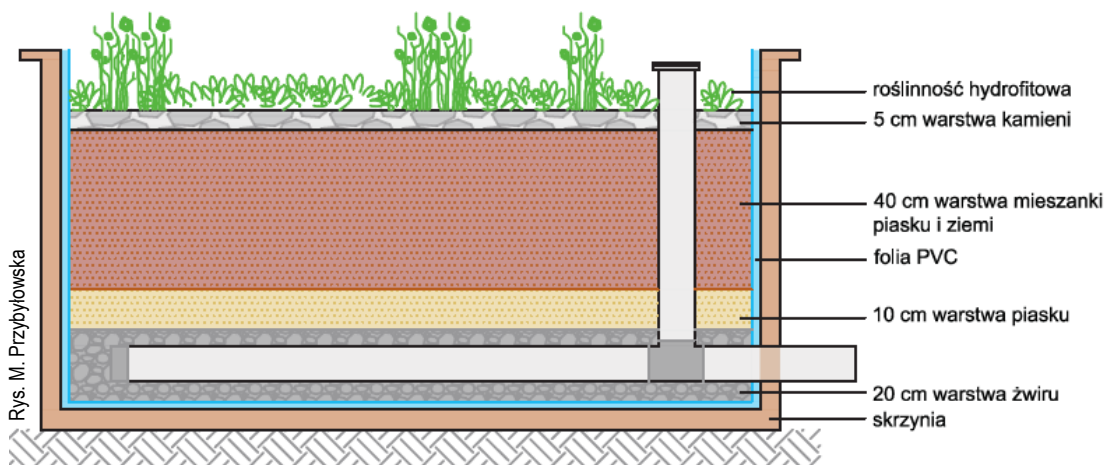
OGRÓD DESZCZOWY W POJEMNIKU

Mianem ogrodów deszczowych określa się całą gamę różnorodnych urządzeń, wykorzystujących zieloną infrastrukturę do gospodarowania wodami deszczowymi. Wspólnym wyróżnikiem ogrodów deszczowych jest stosowanie ozdobnych i różnorodnych mieszanek roślin, w tym gatunków kwitnących, w celu wzmocnienia ich funkcji ozdobnej. Opisany tutaj obiekt to jeden z najprostszych przykładów ogrodów deszczowych, został dopracowany i spopularyzowany w ramach projektu Raingardens realizowanego w Melbourne (więcej informacji na temat tego projektu znajduje się w podrozdziale 4.2 niniejszego Aneksu). Ogrody tego typu tworzy się w formie skrzyni lub innego typu pojemnika stojącego na podłożu. Powierzchnia ogrodu deszczowego powinna wynosić około 2% obsługiwanej powierzchni dachu (czyli 1 m² ogrodu na każde 50 m² dachu). Pojemnik ma około 90 cm wysokości, jest uszczelniony (najczęściej za pomocą folii PVC) i wypełniony warstwami, pokazanymi na rysunku poniżej, które zapewniają przepływ wody i jej filtrację. Retencja wody odbywa się głównie dzięki korzeniom roślin, posadzonych na powierzchni pojemnika oraz podciąganiu kapilarnemu.

Ogrody tego typu najczęściej instaluje się bezpośrednio w okolicy rynny, tak aby w prosty sposób można było skierować wody deszczowe z dachu do ogrodu. Odpływ wody z pojemnika zapewnia rura drenująca ułożona w jego dnie. Wypływającą wodę można wykorzystać do podlewania ogrodu lub innych celów gospodarczych, można ją również infiltrować do gruntu. Jeśli nie ma takich możliwości, należy ją odprowadzić do kanalizacji. Na wypadek intensywnych opadów, w skrzyni umieszcza się pionową rurę przelewową, wystającą ok 10 cm ponad górny poziom wypełnienia, która zapobiega przepełnieniu się skrzyni i odprowadza nadmiar wody bez przepływu przez wypełnienie ogrodu. Aby zabezpieczyć powierzchnię ogrodu przed wytlukiwaniem należy pokryć ją płaskimi kamieniami.

Ogrody deszczowe tego typu, dzięki umieszczeniu w skrzyni, można wprowadzać niemal w każdej sytuacji, nawet w najbardziej zurbanizowanych i intensywnie używanych przestrzeniach miejskich. Dzięki niewielkim rozmiarom i możliwości elastycznego dostosowania kształtu (zwłaszcza poziomych rozmiarów) niemal zawsze można je wpasować w dany kontekst. Ułatwia to również prosty montaż, pozwalający na wpasowanie ogrodu deszczowego w istniejącą infrastrukturę do odprowadzania deszczówki, która jednocześnie zapewnia odbiór nadmiaru wody. Forma skrzyni pozwala na stosowanie ciekawych i niebanalnych form i materiałów, co w połączeniu z roślinami, którymi obsadzony jest ogród, pozwala na upiększenie i urozmaicenie przestrzeni miejskiej.

Budowa



Zastosowanie

- Przechwytywanie wód deszczowych z rynny lub innego źródła, w bezpośrednim sąsiedztwie budynku.

Działanie

- Retencja wód opadowych, opóźnienie ich odpływu.
- Zmniejszenie ilości wód opadowych (ewapotranspiracja) i poprawa ich jakości (oczyszczanie mechaniczne i fitoremediacja).
- Dostarczanie innych usług ekosystemów (funkcje edukacyjne, tworzenie siedlisk ekologicznych i wspieranie bioróżnorodności, poprawa estetyki).

Przykłady



Budowa ogrodu deszczowego przy Akademickim Ośrodku Inicjatyw Artystycznych w Łodzi (po lewej)
i Zespole Szkół nr 2 w Markach (po prawej)

Dodatkowe informacje

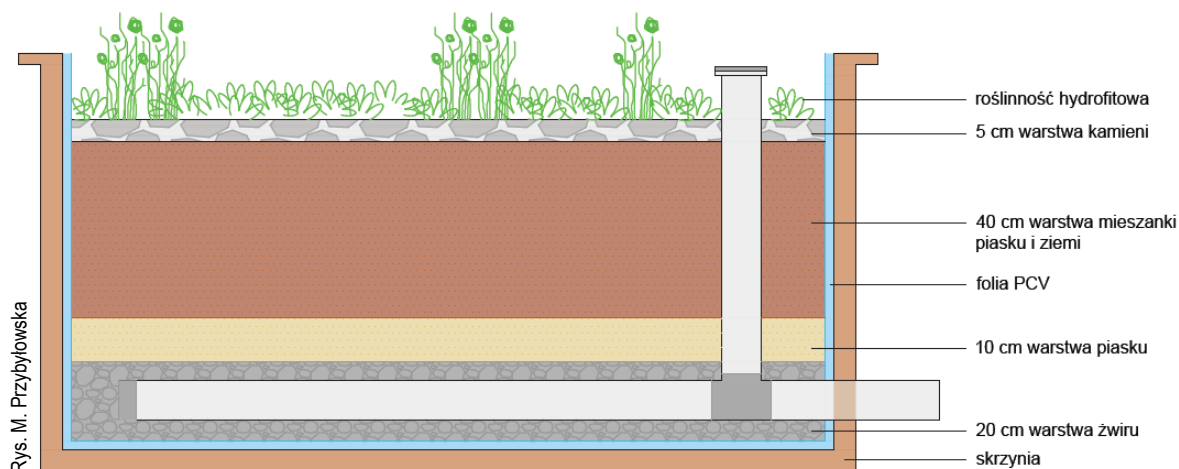
- Ogrody deszczowe w pojemnikach. Instrukcja budowy. Fundacja Sendzimira 2014. Poradnik dostępny na www.uslugiekosystemow.pl.

OGRÓD DESZCZOWY W GRUNCIE

Ogród deszczowy w gruncie jest rozwiązaniem o konstrukcji i działaniu bardzo zbliżonych do opisanego powyżej ogrodu deszczowego w skrzyni. Jednak zamiast w pojemniku, tworzy się go w gruncie, tak aby poziom górnej powierzchni ogrodu znajdował się na poziomie terenu. W związku z warstwy mineralne złoża ogrodu znajdują się pod ziemią, a nie są wyniesione, jak ma to miejsce w przypadku ogrodu w pojemniku. Pozostałe detale są bardzo podobne, w tym wymagana powierzchnia ogrodu deszczowego, która również wynosi około 2% obsługiwanej powierzchni dachu (1 m² ogrodu na każde 50 m² dachu). Ogród tego typu ma również ok. 90 cm głębokości i powinien być uszczelniony. Układ warstw wypełnienia i rur odprowadzających wodę pokazano na rysunku poniżej. Mają one gwarantować przepływ i filtrację wody deszczowej, jej retencja odbywa się dzięki działaniu roślin oraz podciąganiu kapilarnemu.

Ogrody deszczowe tego typu, podobnie jak ogrody w pojemnikach, mają niewielkie rozmiary i mogą być łatwo wpasowane w niemal każdą przestrzeń. Jednak ze względu na konstrukcję, stosowane są głównie w przypadku domów jednorodzinnych i w innych przypadkach, w których w okolicach obsługiwanego budynku dostępny jest teren zielony (trawnik, ogród itp.). Naturalnym rozwiązaniem w takim kontekście jest wykorzystanie wypływającej wody do podlewania sąsiadującego terenu zielonego. Jednak, jeśli jest taka konieczność, można ją również odprowadzić do istniejącej kanalizacji deszczowej.

Budowa



Zastosowanie

- Przechwytywanie wód deszczowych z rynny lub innego źródła, w bezpośrednie sąsiedztwie budynku.

Korzyści

- Retencja wód opadowych, opóźnienie ich odpływu.
- Zmniejszenie ilości wód opadowych (ewapotranspiracja) i poprawa ich jakości (oczyszczanie mechaniczne i fitoremediacja).
- Dostarczanie innych usług ekosystemów (funkcje edukacyjne, tworzenie siedlisk ekologicznych i wspieranie bioróżnorodności, poprawa estetyki).

Przykłady



Budowa ogrodu deszczowego w gruncie przy siedzibie Stowarzyszenia „On Ja Ty” w Bukowcu

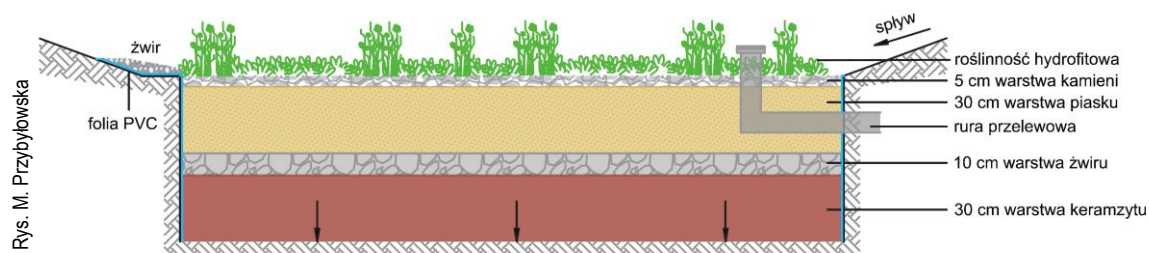
Dodatkowe informacje

- Ogrody deszczowe w gruncie, wyściełane folią. Instrukcja budowy. Fundacja Sendzimira 2014. Poradnik dostępny na www.uslugiekosystemow.pl.

OGRÓD DESZCZOWY INFILTRUJĄCY DO GRUNTU

Ten typ ogrodu deszczowego różni się od opisywanych powyżej. Przede wszystkim jego zasadniczym zadaniem, poza retencją i podczyszczaniem wody deszczowej, jest również jej infiltracja. Odbywa się ona przez dno ogrodu, bezpośrednio do gruntu rodzimego, znajdującego się pod ogrodem. Zainstalowana rura odpływowa odprowadza wodę jedynie w sytuacjach wyjątkowych, przy bardzo intensywnych lub długotrwałych deszczach, które skutkują zalaniem ogrodu (wlot tej rury znajduje się około 10 cm powyżej poziomu ogrodu). Powierzchnia deszczowych ogrodów infiltrujących, podobnie jak opisanych powyżej, powinna odpowiadać 2% obsługiwanej powierzchni dachu (2 m² ogrodu na każde 100 m² dachu). Układ warstw wypełniających, a także budowa i sposób uszczelnienia ścian bocznych ogrodu infiltrującego zostały zaprezentowane na rysunku poniżej. Wierzchnia warstwa ogrodu powinna być zabezpieczona żwirem, żeby zapobiec erozji i wypłukiwaniu wypełnienia mineralnego. Z tego samego powodu warto dodatkowo zabezpieczyć okolice dopływu wody deszczowej za pomocą żwiru lub drobnych kamieni. Ogród powinien być gęsto obsadzony roślinnością hydrofitową. Obiekty tego typu są szczególnie zalecane na obszarach, na których grunty rodzime charakteryzują się odpowiednią przepuszczalnością, umożliwiającą skuteczną infiltrację wód deszczowych. Jeśli grunt jest mniej przepuszczalny warto rozważyć wykorzystanie nadmiaru wody, odpływającego rurą przelewową, ewentualnie skierować go do kanalizacji.

Budowa



Zastosowanie

- Przechwytywanie wód deszczowych z rynny lub ze spływu powierzchniowego, jej retencja, oczyszczanie i infiltracja do gruntu, w sąsiedztwie obsługiwanego budynku.

Korzyści

- Retencja wód opadowych, opóźnienie ich odpływu.
- Zmniejszenie ilości wód opadowych (ewapotranspiracja) i poprawa ich jakości (oczyszczanie mechaniczne i fitoremediacja).
- Infiltracja oczyszczonej wody deszczowej do gruntu.
- Dostarczanie innych usług ekosystemów (funkcje edukacyjne, tworzenie siedlisk ekologicznych i wspieranie bioróżnorodności, poprawa estetyki).

Przykłady



Infiltrujący ogród deszczowy przy Zespole Szkół nr 2 w Markach

Dodatkowe informacje

- Ogrody deszczowe infiltrujące wodę do gruntu. Instrukcja budowy. Fundacja Sendzimira, 2014. Poradnik dostępny na www.uslugiekosystemow.pl.

OCZYSZCZALNIA HYDROFITOWA O ZWIERCIADLE SWOBODNYM

Oczyszczalnia hydrofitowa o zwierciadle swobodnym jest obiektem znacznie bardziej złożonym niż opisane powyżej. Oczyszczalnie tego typu wykorzystuje się do zagospodarowania wód deszczowych powstających ze znacznie większych powierzchni niż dach pojedynczego budynku. Istnieją tego typu obiekty przyjmujące wody opadowe nawet z całych miast (fotografie poniżej). Generalnie wytyczne projektowe zalecają, żeby tego typu oczyszczalnie projektować i wykonywać dla obsługi zlewni o powierzchni powyżej 0,5 ha. Jej powierzchnia powinna stanowić około 2% sumarycznej powierzchni obsługiwanej zlewni. Oczyszczalnia wykonana jest w formie obiektu o otwartym zwierciadle wody, co odróżnia ją od większości opisywanych w tym rozdziale rozwiązań, w których woda w normalnych warunkach jest raczej 'ukryta' pod powierzchnią różnego rodzaju porowatych wypełnień mineralnych.

Jak widać na rysunku poniżej (schematy w części Budowa), konstrukcja takiej oczyszczalni jest stosunkowo złożona, składa się ona z różnorodnych stref i obiektów. Część centralna, w której przebiegają kluczowe dla działania obiektu procesy, składa się z mokradeł płytkich (głębokość 15–20 cm) i mokradeł głębokich (30–70 cm). Strefy te tworzą mozaikę, są połączone szeregowo, woda przyspiesza i zwalnia przepływając wielokrotnie przez te strefy o różnej głębokości. Powoduje to większą skuteczność usuwania zanieczyszczeń z wód deszczowych, zwłaszcza zawiesiny są w takich warunkach wydajnie osadzone i zatrzymywane w strefach mokradła głębokiego. Żeby zwiększyć efektywność tych procesów, strefy płytkie mogą być zawężane, żeby dodatkowo przyspieszyć przepływ wody. W strefach mokradła płytkiego zachodzi sedimentacja i inne procesy mechanicznego oczyszczania wody, ale przede wszystkim panują tam doskonałe warunki do oczyszczania biologicznego – fitoremediacji wody. To wszystko powoduje dużą skuteczność usuwania wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń przez oczyszczalnię tego typu. Poza poprawą podstawowych parametrów fizyko-chemicznych, usuwane są również biogeny, metale ciężkie, związki toksyczne, bakterie (również typu kałowego).

Zasadnicza część, składająca się ze stref mokradła płytkiego i głębokiego, poprzedzona jest niewielkim zbiornikiem wstępnym, w którym następuje okresowe przetrzymanie wód, mające na celu wyrównanie ich składu i wstępne podczyszczenie mechaniczne. Zbiornik otoczony jest tamką kamienną, przez którą następuje przelew wody na opisane powyżej strefy mokradłowe. Analogiczny zbiornik znajduje się na wypływie. Zbiera on wodę oczyszczoną w strefach mokradłowych i okresowo ją przechowuje, skąd odpływa ona poza oczyszczalnię – może być wykorzystana do podlewania zieleni, ewentualnie odprowadzona do środowiska w inny sposób.

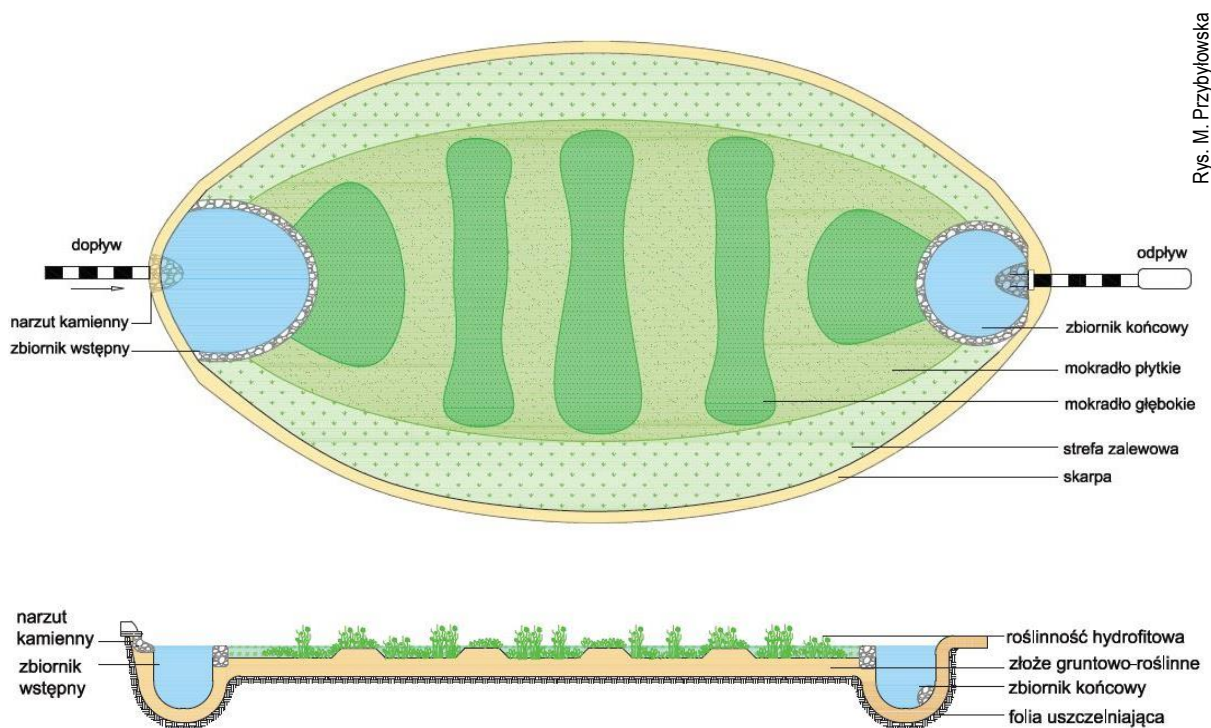
W normalnych warunkach, woda przepływa i jest oczyszczona w opisany powyżej sposób (zbiornik wstępny – strefy mokradeł płytkich i głębokich – zbiornik końcowy). Jednak w przypadku pojawienia się wyższego poziomu wody, wynikającego z większej ilości wód deszczowych dopływających do oczyszczalni (np. deszcze nawalne i/lub długotrwałe), nadmiar wody przelewa się do stref buforowych, znajdujących się na zewnątrz stref mokradłowych i oddzielonych od nich stosownie podniesionymi wałami. W strefie buforowej nadmiar wody jest okresowo przechowywany. Po powrocie poziomu wody w oczyszczalni do stanu normalnego, przesącza się ona z powrotem do stref mokradłowych, zasila zasadniczy strumień przepływający przez oczyszczalnię. W przypadku oczyszczalni obsługujących zlewnie o powierzchniach większych niż 4 ha, zaleca się ich poprzedzenie dodatkowym stawem lub oczkiem wodnym, z którego wody deszczowe po retencji i wstępnym podczyszczeniu mechanicznemu, kierowane są dopiero na zasadniczą oczyszczalnię. Całość obiektu jest uszczelniona, żeby zapobiec

ucieczce wody i przenikaniu zanieczyszczeń do gruntu. Najczęściej stosuje się w tym celu folie, geowłókniny lub naturalne uszczelnienia iłowe, ewentualnie ich kombinacje.

Formę poszczególnych stref, ich wzajemne połączenia i konfigurację można dość elastycznie kształtować. Z jednej strony daje to możliwości stworzenia obiektu atrakcyjnego wizualnie, bardzo zbliżonego w wyglądzie do naturalnych obiektów wodnych (rozlewisk, małych stawów, mokradeł). Z drugiej strony pozwala na wpasowanie tworzonej oczyszczalni w konfigurację i topografię terenu, w tym również optymalne wykorzystanie dostępnej wolnej przestrzeni, nawet jeśli ma ona nieregularne kształty, uniemożliwiające jej wykorzystanie dla innych funkcji. Oczyszczalnie tego typu, poza podstawowymi funkcjami związanymi z oczyszczaniem i retencją wód deszczowych, dostarczają szeregu usług ekosystemów, stanowią naturalne siedlisko dla wielu gatunków roślin i zwierząt, przyczyniając się do poprawy bioróżnorodności i atrakcyjności terenów, zwykle tworzą doskonałe warunki do rekreacji i relaksu na łonie przyrody, mają też duży potencjał edukacyjny.

Jak wspomniano powyżej, oczyszczalnie tego typu tworzy się dla obsługi stosunkowo dużych obiektów i odwadnianych powierzchni. Mogą one przyjmować wody opadowe z całych osiedli lub zespołów domów, z wielogabarytowych obiektów handlowych i produkcyjnych, z obszarów przemysłowych i centr biznesowych. Z drugiej strony dla zlewni mniejszych można zaadoptować to rozwiązanie i wykonać podobne obiekty o uproszczonej budowie, rezygnując z niektórych elementów (np. zbiornika początkowego i/lub końcowego, strefy buforowej).

Budowa



Zastosowanie

- Oczyszczanie i zagospodarowanie wód deszczowych z osiedli lub zespołów domów; z różnego rodzaju obiektów wielkogabarytowych i wielkopowierzchniowych; z terenów przemysłowych; centr biznesowych i komercyjnych.

Korzyści

- Oczyszczanie wód deszczowych, również silnie zanieczyszczonych (np. pochodzących z centrów miast, powierzchni zanieczyszczonych, infrastruktury drogowej).
- Retencja wód opadowych oraz zmniejszenie ich ilości (ewapotranspiracja).
- Dostarczanie bardzo szerokiej gamy usług ekosystemów (funkcje edukacyjne i rekreacyjne; tworzenie siedlisk ekologicznych i wspieranie bioróżnorodności; poprawa estetyki; odświeżanie powietrza i zapobieganie efektowi miejskiej wyspy ciepła).

Przykłady



Oczyszczalnia hydrofitowa przyjmująca większość wód deszczowych i roztopowych z miasta Enköping w Szwecji: widok ogólny po ukończeniu budowy, przed obsadzeniem roślinnością (po lewej), stan obecny (po prawej)

Dodatkowe informacje

- A Handbook of Constructed Wetlands. Stormwater. U.S. EPA: Philadelphia 2000.
- Bergier T., Dobre praktyki zintegrowanej gospodarki komunalnej w Szwecji. Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 2, 2011.

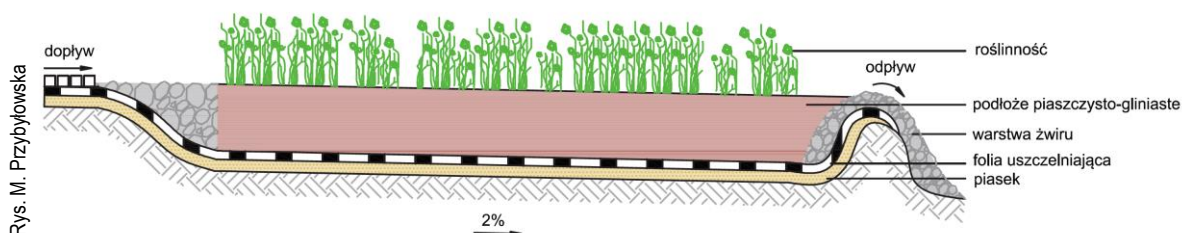
PASAŻ ROŚLINNY

Pasaże roślinne są odmianą oczyszczalni hydrofitowych wód deszczowych o przepływie podpowierzchniowym poziomym. Tworzy się je przede wszystkim dla wód zanieczyszczonych, w miastach najczęściej do oczyszczania spływu powierzchniowego z infrastruktury drogowej i obiektów dystrybucji paliw. Pasaże wykonuje się w formie zagłębienia o głębokości 30–60 cm i wymiarach poziomych dostosowanych do powierzchni obsługiwanej zlewni i dostępnej przestrzeni. Można tworzyć formy przestrzenne o mniej lub bardziej regularnych kształtach (najczęściej podłużnych), jednak można je również realizować w kształcie mocno wydłużonych, niemal liniowych konstrukcji. Te drugie są szczególnie użyteczne w przypadku ograniczonej przestrzeni, pozwalają na wpasowanie pasaży wzdłuż dróg czy innych źródeł o liniowym charakterze (szczególnie użyteczne rozwiązanie, jeśli pasaże są zasilane wodami opadowymi spływającymi z tych obiektów). Pasaże najczęściej wypełnia się

mieszanią piasku i gleby rodzimej, a dno uszczelnia za pomocą folii. W przypadku silnie zanieczyszczonych wód, stosuje się wypełnienia mniej przepuszczalne, w celu wydłużenia czasu przepływu i skuteczniejszego oczyszczania (np. mieszaniny glin z piaskiem, czy nawet mieszanki sztuczne o wysokich parametrach sorpcyjnych i zdolności zatrzymywania zanieczyszczeń).

Pasaże obsadza się roślinami wodnymi, najczęściej trzcinami, ewentualnie turzycami czy sitami. Dopływ i odpływ wody deszczowej zabezpiecza się kamieniami dla ograniczenia erozji i umożliwienia niezakłóconego przepływu. Kluczowym zadaniem pasaży jest poprawa jakości przepływających wód deszczowych, usunięcie zanieczyszczeń zarówno w formie stałej (na drodze filtracji i innych procesów mechanicznych), jak i rozpuszczonej (fitoremediacja). Przyczyniają się jednak również do retencji wód deszczowych, a także pewnego zmniejszenia ich ilości (ewapotranspiracja). Jednak zwykle konieczne jest zagospodarowanie wypływających oczyszczonych wód (np. do podlewania czy infiltracji). Odpływ może być zrealizowany w formie przelewu (tak jak na rysunku poniżej) lub podziemnej rury.

Budowa



Zastosowanie

- Przechwytywanie i oczyszczanie spływu powierzchniowego z obszarów uszczelnionych o dużym stopniu zanieczyszczenia (np. parkingi, drogi samochodowe, inne ciągi komunikacyjne, ew. place i inne nawierzchnie nieprzepuszczalne).
- Nadmiar wody może być infiltrowany lub rozlany na teren zielony, a jeśli nie ma takiej możliwości – odprowadzony do kanalizacji lub odbiornika.

Korzyści

- Zasadnicza rola: oczyszczanie wód opadowych.
- Dodatkowe działanie: retencja i opóźnienie spływu wód opadowych, zmniejszenie ich ilości na drodze ewapotranspiracji.
- Dostarczanie szerokiej gamy usług ekosystemów (wzbogacenie bioróżnorodności, tworzenie połączeń ekologicznych wewnątrz miasta, siedliskotwórczy charakter).

Przykład



Fot. www.spire.com.au

Pasaż roślinny oczyszczający wody deszczowe z drogi przed ich odprowadzeniem do rzeki Plenty, Banyule, Australia

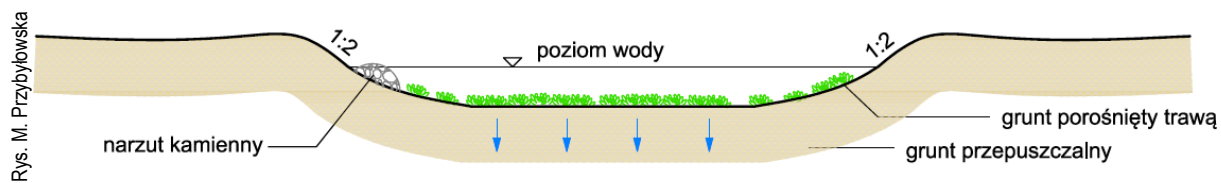
Dodatkowe informacje

- Geiger W., Dreiseitl H., Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Poradnik. Projekt-EMO, 1999.

ZIELONA NIECKA CHŁONNA

Niecka chłonna to proste rozwiązanie, wykonane w formie zagłębienia w gruncie, zwykle o niewielkiej głębokości (około 30 cm). Jej zasadniczym zadaniem jest przechwycenie wód deszczowych i ich retencjonowanie w celu infiltracji do gruntu. W przypadku większych ilości wód deszczowych, niecka wypełnia się wodą, zwierciadło znajduje się powyżej powierzchni niecki, jednak dzięki zagłębieniu, nie wypływa poza jej obszar, zabezpieczając tym samym sąsiadujące tereny przed zalaniem. W normalnych warunkach i dopływie wód deszczowych, niecka jest obiektem suchym, może być wykorzystywana do innych celów, jak każdy teren zielony. Niecki zwykle obsadza się trawą, ale coraz częściej stosuje się różnorodne mieszanki roślin, w tym również makrofitów, w celu uatrakcyjnienia wizualnego, zwiększenia gamy dostarczanych usług ekosystemów (szczególnie wspieranie bioróżnorodności i tworzenie siedlisk ekologicznych), ale także zwiększenia skuteczności ich działania w zakresie gospodarki wodami deszczowymi (wydajniejsza ewapotranspiracja i fitoremediacja wód). Niecki chłonne stosuje się przede wszystkim dla wód deszczowych o małym i średnim stopniu zanieczyszczenia, zwłaszcza spływu powierzchniowego z dachów budynków mieszkalnych, terenów częściowo utwardzanych, a z innych zlewni – po wcześniejszym podczyszczeniu.

Budowa



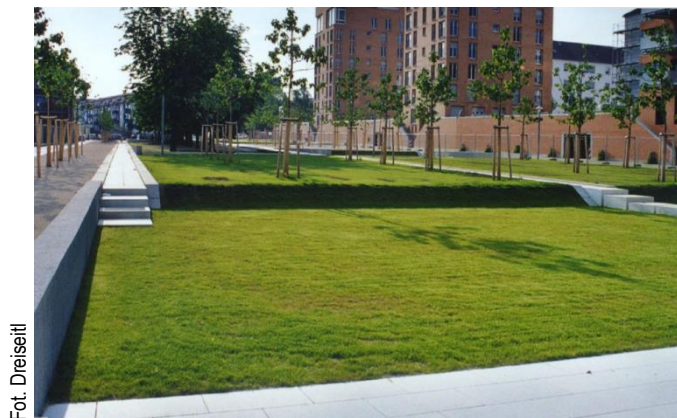
Zastosowanie

- Przechwytywanie i infiltrowanie spływu powierzchniowego z obszarów uszczelnionych o niskim stopniu zanieczyszczenia (np. dachy, place, inne powierzchnie uszczelnione).

Korzyści

- Retencja i infiltracja wód deszczowych.
- W okresach suchych możliwość normalnego korzystania z terenu, na którym znajduje się niecka.
- Dostarczanie usług ekosystemów (odświeżanie powietrza, wzbogacenie bioróżnorodności, tworzenie połączeń ekologicznych wewnątrz miasta, siedliskotwórczy charakter).

Przykłady



Zielona niecka chłonna w Scharnhauser Park w Ostfildern, Niemcy, przyjmująca wodę deszczową z terenów zabudowanych (po lewej), a w pogodę bezdeszczową pełni funkcję terenów rekreacyjnych (po prawej)

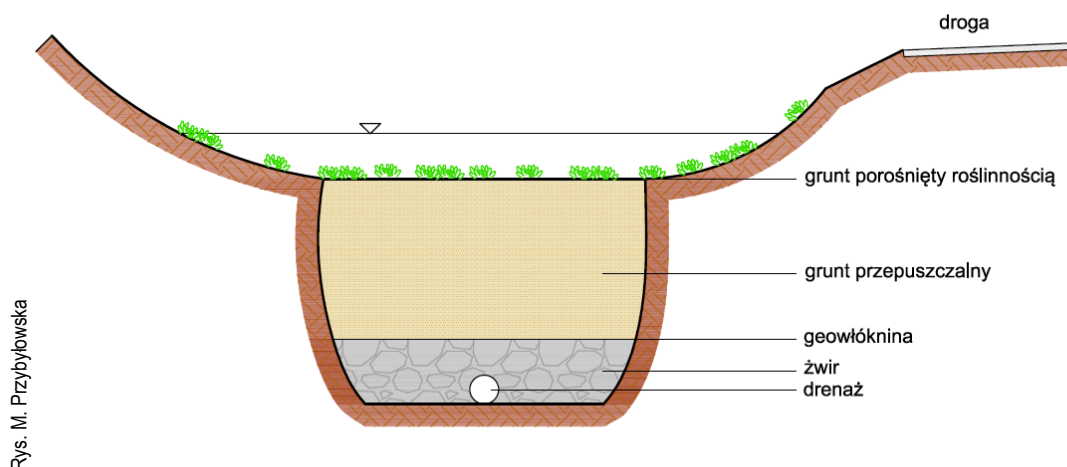
Dodatkowe informacje

- Geiger W., Dreiseitl H. Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Poradnik. Proj-przem-EKO, 1999.

NIECKA FILTRACYJNA

Niecka filtracyjna to modyfikacja niecki chłonnej, opisanej powyżej, która pozwala na zastosowanie jej również w przypadku wód deszczowych bardziej zanieczyszczonych i/lub w warunkach ograniczonej infiltracji. Zasadnicza zmiana polega na wprowadzeniu pod powierzchnię niecki wypełnienia mineralnego, zamiast gruntu rodzimego. Takie wypełnienie ma dwa zadania: oczyszczanie wód deszczowych (filtracja) oraz zwiększenie pojemności retencyjnej obiektu (porowatość). W zależności od warunków geologicznych, a przede wszystkim stopnia zanieczyszczenia przyjmowanych wód deszczowych, dno niecki tego typu może być dodatkowo uszczelnione. Jeśli jakość wód deszczowych jest zła, należy nieckę uszczelnić (jak na poniższym schemacie), np. za pomocą folii lub geowłókniny, a w jej dnie zainstalować rura odprowadzająca oczyszczoną wodę (w celu dalszego zagospodarowania lub odprowadzenia jej do kanalizacji). W lepszej jakości wód i dobrej przepuszczalności utworów rodzimych, znajdujących się w podłożu, można zrezygnować z uszczelnienia i wodę po przepłynięciu przez nieckę infiltrować do gruntu. Pozostałe funkcje, szczegóły konstrukcyjne i sposób obsadzenia roślinami są analogiczne jak w przypadku niecki chłonnej, opisanej powyżej.

Budowa



Zastosowanie

- Przechwytywanie i oczyszczanie wód deszczowych o dużym stopniu zanieczyszczenia (np. parkingi, drogi samochodowe, inne ciągi komunikacyjne, ew. place i inne powierzchnie uszczelnione).

Korzyści

- Oczyszczanie wód opadowych, ich retencja i opóźnienie, zmniejszenie ich ilości na drodze ewapotranspiracji.

Przykłady aplikacji



Płytki niecka infiltracyjna przy parkingu szpitalnym w Norriton, USA (po lewej). Buforowy pas trawiasty w połączeniu z niecką w Aiken, USA (po prawej)

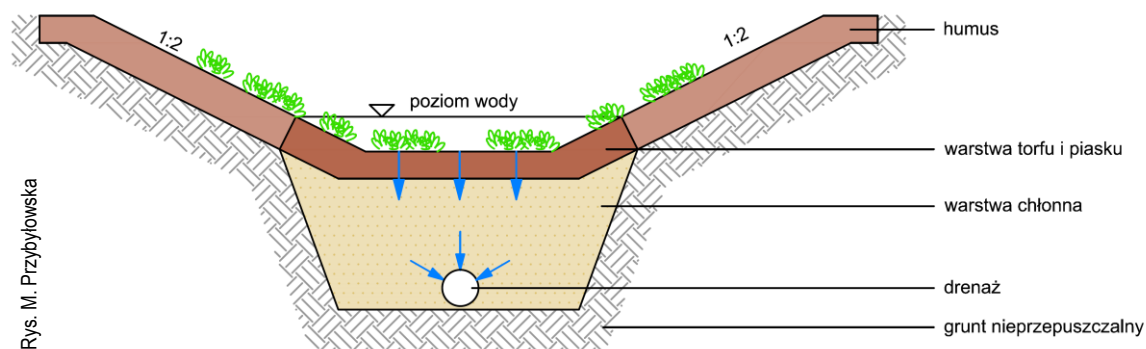
Dodatkowe informacje

- Geiger W., Dreiseitl H. Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Poradnik. Proj-przem-EKO, 1999.
- Wagner I., Krauze K., Jak bezpiecznie zatrzymać wodę opadową w mieście? Narzędzia techniczne [w:] Woda w mieście. Zrównoważony Rozwój — Zastosowania 5, 2014.

ZIELONY RÓW INFILTRACYJNY

Różnego rodzaju rowy są powszechnie stosowanymi urządzeniami, służącymi do powierzchniowego odprowadzania wód deszczowych. Wykorzystuje się je przede wszystkim do odwadniania dróg i innych obiektów liniowych. Jednak nawet w przypadku tak powszechnych rozwiązań można i warto je modyfikować, po to by zwiększyć ich zdolności do retencji i odparowania wody. Oczywiście niezbędne jest uważne działanie i przemyślane projektowanie, aby nie upośledzić podstawowej funkcji rowów, jaką jest odprowadzanie wody. Jednak wprowadzając zieleń (w tym również bioróżnorodne mieszanki i/lub rzadsze wykaszenie) można skutecznie zwiększyć retencję w takich rowach, a co za tym idzie poprawić jakość przepływającej wody, zmniejszyć jej ilość na drodze ewapotranspiracji, minimalizując tym samym obciążenie odbiornika czy kanalizacji. Innym sposobem modyfikacji takich rowów, jest wprowadzanie w ich dnie warstwy chłonnej (jak na schemacie poniżej), która powoduje dalszy wzrost ich zdolności retencyjnej i ilość wody infiltrującej do gruntu.

Budowa



Zastosowanie

- Przechwytywanie i odprowadzanie wód deszczowych z obiektów liniowych (np. drogi samochodowe, inne ciągi komunikacyjne, torowiska), przy odpowiedniej modyfikacji możliwe jest również retencja tych wód, ich podczyszczanie i częściowa retencja.

Przykład



Rów trawiasty wzdłuż torów tramwajowych, Fryburg, Niemcy (po lewej)

Dodatkowe informacje

- Geiger W., Dreiseitl H. Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Poradnik. Proj-przem-EKO, 1999.
- Wagner I., Krauze K., Jak bezpiecznie zatrzymać wodę opadową w mieście? Narzędzia techniczne [w:] Woda w mieście. Zrównoważony Rozwój — Zastosowania 5, 2014.

INNE URZĄDZENIA DO POPRAWY RETENCJI I INFILTRACJI WÓD OPADOWYCH

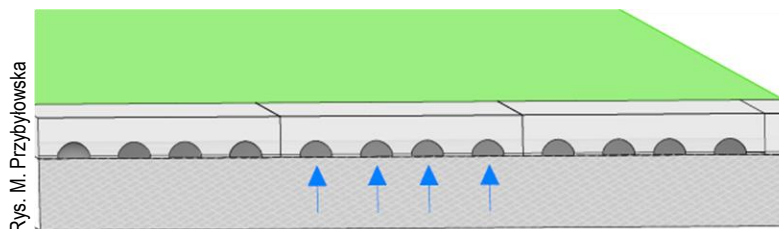
Oczywiście powyższy podrozdział nie opisuje wszystkich metod i urządzeń zielonej infrastruktury. Funkcjonuje również wiele rozwiązań o dużej popularności, często stosowanych także w polskich realiach, których opisy znajdują się w ogólnodostępnej literaturze (np. różnego rodzaju powierzchniowe zbiorniki retencyjne – fotografia poniżej), a także urządzenie, które nie są rozwiązaniami zielonej infrastruktury, ale często im towarzyszą (np. powierzchnie przepuszczalne, czy różnego rodzaju krawężniki – przykłady poniżej).

Pokreślić należy, że wszystkie rozwiązania wykorzystujące zieloną infrastrukturę są bardzo elastyczne, a różnice między nimi zwykle niewielkie, dlatego w praktyce często stosuje się systemy hybrydowe, a także mieszanki i modyfikacje różnych rozwiązań. Generalnie systemy te wymykają się jednoznacznym klasyfikacjom i podziałom, dlatego powyższy rozdział należy potraktować jako przekrój przykładowych rozwiązań, zaproszenie do własnych studiów i poznawania różnych projektów i rozwiązań.



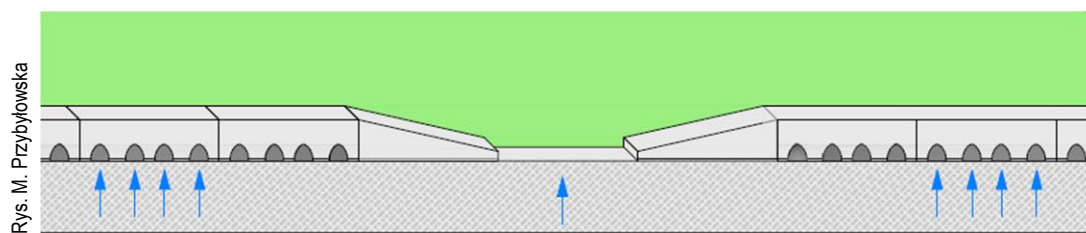
Fot. M. Domanowska

Staw retencyjny w Appelteren, Holandia

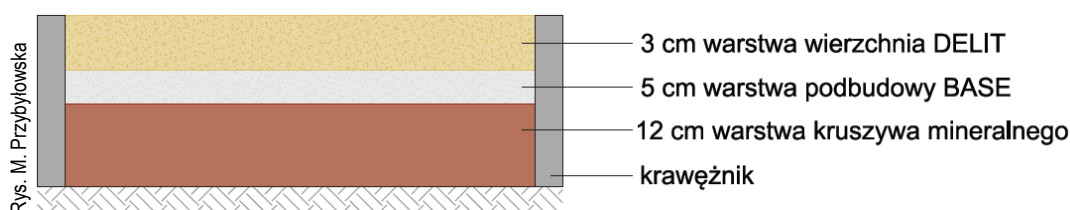


Rys. M. Przybyłowska

Krawężnik odwadniający



Zejęciowy krawężnik odwadniający



Przykład nawierzchni przepuszczalnej – nawierzchnia mineralna Natural Grey

Dodatkowe informacje

- Metody zwiększania retencji wody deszczowej w gruncie. Niecki retencyjne, stawy retencyjne. Fundacja Sendzimira, 2014. Poradnik dostępny na www.uslugiekosystemow.pl.

GATUNKI ROŚLIN W ZIELONEJ INFRASTRUKTURZE W KRAKOWIE

Integralną częścią wszystkich rozwiązań zielonej infrastruktury, w tym opisanych w niniejszym Aneksie, są rośliny, a zwłaszcza rośliny mokradowe (makrofity). Niniejszy podrozdział stanowi syntetyczny przegląd gatunków, które nadają się do stosowania w tego typu obiektach, a także mini poradnik ich doboru, sposobu nasadzania i pielęgnacji. Przy doborze roślin warto kierować się warunkami panującymi na projektowanym obiekcie lub jego poszczególnych częściach, najbardziej istotne jest nasłonecznienie (lub zacienienie) i warunki wodne (stałe zanurzenie, okresowe podtapianie, podpowierzchniowy poziom wody). Kryterium o dużym znaczeniu estetycznym jest też wysokość docelowa roślin. Generalnie należy stosować gatunki rodzime, jako najlepiej dostosowane do lokalnych warunków środowiskowych i klimatycznych, ale też po to by nie wprowadzać roślin inwazyjnych, obcego pochodzenia. Szczególnie pożądaną cechą stosowanych roślin jest ich zdolność do łatwego przyjmowania się po przesadzeniu, a także odporność na obecność związków toksycznych, jeśli takie mogą pojawić się w oczyszczanym medium.

Najczęściej stosowanym gatunkiem w urządzeniach zielonej infrastruktury stosowanej do wód deszczowych jest trzcina pospolita (*Phragmites australis*), ze względu na swoją niezwykłą odporność na zmienne warunki oraz wysokie stężenia związków toksycznych (w tym metali ciężkich i związków ropopochodnych). Również pałka szerokolistna (*Typha latifolia*) i wąskolistna (*Typha angustifolia*) są dość często stosowane, a także różnego rodzaju wierzy. Jednak jeśli mamy ambicję stworzenia obiektu o prezencji ogrodu, wysokiej estetyce, kolorowego i zmieniającego się w zależności od pory roku i okresu wegetacyjnego, powyższe gatunki mają ograniczone zastosowanie, pomimo dobrych

cech użytkowych (czy wręcz doskonałych w przypadku trzciny). Dlatego uzupełnia się je, a często zastępuje przez sity, sitowia i turzyce, które tworzą malownicze, zielone łąny, a poza okresem wegetacyjnym podsychają w bardzo atrakcyjny sposób. Poza tym coraz częściej stosuje się gatunki ozdobne, kwitnące. Mają one zastosowanie zwłaszcza w przypadku ogrodów deszczowych, które lokowane są w bezpośrednim sąsiedztwie domów, często w ogrodach. W ich przypadku szczególny potencjał ma lobelia szkarłatna (*Lobelia cardinalis*), zwana stroiczką czerwoną, z powodu kwitnienia na bardzo intensywny, ciemnoczerwony kolor. Można także stosować turzyce, np. rodzimą turzycę owłosioną (*Carex hirta*), jak również sity, np. powszechnie występujący sit rozpięchły (*Juncus effusus*), a także irysy – rośliny bulwiaste o ozdobnych liściach i kwiatach, czy miecznicę wąskolistną (*Sisyrinchium angustifolium*), z rodziny kosaćców, która kwitnie na fioletowo. Ciekawie prezentują się również rodzime paprocie wieloletnie, jak np. długosz królewski (*Osmunda regalia*) czy wietlica samicza (*Athyrium filix-femina*). Zdecydowanie najkorzystniejsze z punktu widzenia dostarczanych usług ekosystemów, efektywności dla gospodarki wodami deszczowymi różnorodne mieszanki roślin. Warto w sposób przemyślany tworzyć kompozycje, stosując gatunki o różnej wysokości docelowej, o różnych sposobach rozrastania (kłącza lub pędy, rozłogi, kępy lub rozety liści).

Rośliny najlepiej sadzić na wiosnę, sadzonkami lub młodymi roślinami. Powinno się stosować zagęszczenie od 6 do 10 sadzonek na m², odpowiednio mniej w przypadku trzciny i innych dużych roślin (4 sadzonki na m²).



Przykłady gatunków roślin stosowanych w obiektach zielonej infrastruktury

Powyższy podrozdział rzecz jasna nie wyczerpuje tematu roślin stosowanych w urządzeniach zielonej infrastruktury. Jednak na rynku istnieje wiele opracowań i innych źródeł literaturowych na ten temat. Przykładem poradnika pomocnego w podjęciu decyzji o kompozycji roślinnej w planowanych obiektach jest pozycja „Oczyszczalnie roślinne jako rozwiązanie problemów ścieków w obiektach zabudowy rozproszonej”. Oczywiście najlepiej do projektowania tego typu urządzeń (zwłaszcza w przestrzeniach reprezentacyjnych i prestiżowych) zatrudnić architekta zieleni, którego udział pozwoli na wykonanie obiektu dobrze wkomponowanego w otoczenie, prezentującego się estetycznie o każdej porze roku.

3.3. INTEGRACJA ZIELONEJ INFRASTRUKTURY Z PRZESTRZENIĄ MIASTA

ZALECENIA OGÓLNE

W opracowaniu zasadniczym opisano szczegółowo ideę kompleksowego systemu zieleni miejskiej (por. Rozdział V.2 „Kierunków...”), obejmującego swoim zasięgiem cały obszar miasta Krakowa, połączonych funkcjonalnie z obszarami cennymi przyrodniczo leżącymi poza jego granicami, przede wszystkim z korytarzami ekologicznymi. System ten opiera się na obszarach zwartych zadrzewień i parków. Jego osią jest dolina Wisły, a jej dopływy wraz z obszarami przyległymi (szczególnie Parki Rieczne) odgrywają rolę korytarzy ekologicznych wewnątrz miasta i powiązań rekreacyjnych pomiędzy innymi terenami zieleni oraz pomiędzy miastem a regionem.

Dla prawidłowego funkcjonowania takiej błękitno-zielonej sieci, a przede wszystkim dla utrzymania bioróżnorodności oraz skutecznego dostarczania usług ekosystemów na obszarze całego miasta (również w obszarach położonych w większej odległości od parków czy zadrzewień), należy dążyć do jej uzupełniania przez powszechne wprowadzenie ekosystemów zielonych. Zapewni to dostęp do zieleni i usług ekosystemów wszystkim mieszkańcom, poprawi jakość życia, ale również funkcjonowanie błękitno-zielonej sieci. W tym celu niezbędna jest zmiana podejścia do zarządzania przestrzenią miejską, odejście od myślenia sektorowego na rzecz tworzenia obszarów wielofunkcyjnych, a zwłaszcza dążenie do wprowadzania zieleni jako obowiązkowego i powszechnego elementu składowego wszystkich przestrzeni miejskich (mieszkalnych, komercyjnych, transportowych i komunikacyjnych).

Najcenniejsze z punktu widzenia usług ekosystemów, a zwłaszcza zapobiegania wyspom ciepła, poprawy jakości powietrza i mikroklimatu, retencji wody deszczowej i zapobiegania podtopieniom i powodziom miejskim, są drzewa, których działanie może być uzupełniane i wspomagane przez krzewy. Jednak nawet w przypadku obszarów miejskich, na których sadzenie drzew czy krzewów jest niemożliwe, nie musimy zupełnie zrezygnować z wprowadzania zieleni. Osiągnięcia inżynierii ekologicznej, opisane w niniejszym Aneksie, pozwalają na tworzenie ekosystemów również w bardzo ograniczonych i/lub intensywnie użytkowanych przestrzeniach, a tym samym zapewnienie dostarczania usług ekosystemów kluczowych dla funkcjonowania miasta i jakości życia mieszkańców. Różnorodność tych rozwiązań jest bardzo duża. W większości rozwiązania te mają stosunkowo prostą konstrukcję, dlatego bez przeszkód można kombinować kilka z nich w dobrze funkcjonujący system, czy też łączyć je z konwencjonalnymi formami istniejącymi w przestrzeni miejskiej (np. oczka wodne i stawy; rowy odwadniające; donice, klomby i kwietniki). Dzięki osiągnięciom inżynierii ekologicznej można te powszechnie stosowane formy łatwo przekształcać w bardziej efektywne, pod względem retencji wody, bioróżnorodności i siedliskotwórczego charakteru, jak również dostarczania usług ekosystemów.

Celem poniższego podrozdziału jest wskazanie, które rozwiązania najlepiej stosować w przestrzeniach miejskich różnego typu oraz jak za ich pomocą przekształcać te przestrzenie, tak aby były częścią błękitno-zielonej sieci przenikającej całe miasto.

PARKI I DOLINY CIEKÓW WODNYCH

Parki pełnią kluczową rolę dla prawidłowego funkcjonowania miasta i jakości życia ich mieszkańców. Z punktu widzenia hydrologii ich wpływ na równowagę miejskiej gospodarki wodami deszczowymi jest niezwykle istotny (został szczegółowo omówiony w rozdziale 3.1 tego Aneksu). Jednak nawet w

przypadku tych terenów można dążyć do dalszego zwiększenia ich efektywności w dostarczaniu usług ekosystemów, w tym tych związanych z retencją i oczyszczaniem wody.

Jednym ze sposobów jest wydzielenie z obszaru parku bioróżnorodnych enklaw, które przez odpowiednie formy utrzymania (rzadkie koszenie czy wręcz pozostawiane bez koszenia) i zagospodarowania (np. ograniczanie dostępu przez zakrzewienia, brak ścieżek), a także dobór różnorodnych mieszanek roślin (zamiast trawy), przyczynią się do podniesienia bioróżnorodności, stworzą warunki dla bytowania gatunków bardziej płochliwych (zwłaszcza ptaków), ale również podniosą skuteczność zatrzymania wody i poprawią funkcje hydrologiczne.

Na terenie parków warto również wprowadzać ogrody deszczowe i inne rozwiązania zielonej infrastruktury opisane w niniejszym Aneksie (również w mini- i mikroskali), zwłaszcza dla przechwytywania spływu powierzchniowego z terenów utwardzonych i dachów budynków, znajdujących się na terenie parku. Pozwoli to zwiększyć zdolność parków do retencji i oczyszczania wód deszczowych, zabezpieczy również przed okresowym zalewaniem i podtapianiem infrastruktury komunikacyjnej i rekreacyjnej, której coraz więcej funkcjonuje w krakowskich parkach.

Poza powyższym postulatem, stosunkowo łatwym do realizacji, warto również przyjąć bardziej ambitny i długotrwały cel. Wiele krakowskich parków, mogłyby stanowić element zagospodarowania wód deszczowych z sąsiadujących z nimi obszarów zabudowanych, przyczyniając się tym samym do głębokiej transformacji gospodarki wodami deszczowymi w naszym mieście. Zamiast odprowadzać wody opadowe z dachów i powierzchni uszczelnionych do kanalizacji, można je wykorzystać do nawadniania roślin parkowych. Przy zastosowaniu rozwiązań zielonej infrastruktury, które łatwo wkomponować w obszar parkowy, można znakomicie zwiększyć potencjał tych terenów do retencji i przejęcia tych wód. Poza tym większa dostępność wody i obecność obszarów mokradłowych pomaga zwiększyć bioróżnorodność i atrakcyjność samych parków. Na świecie znane są nawet przykłady parków i miniparków, których powstanie było podyktowane potrzebami zagospodarowania wód deszczowych z mocno zurbanizowanych obszarów miejskich, a inne korzyści dla przyrody i mieszkańców były jedynie dodatkową funkcją korzyścią.

Powyższy postulat jest szczególnie ważny w przypadku Parków Rzecznych, które stanowią bufor pomiędzy terenem zurbanizowanym a rzeką, która jest naturalnym odbiornikiem wód deszczowych. Jednak odprowadzanie tych wód deszczowych bez oczyszczenia i retencji, powoduje wiele problemów środowiskowych (w tym degradację wód powierzchniowych), a przede wszystkim zwiększa zagrożenie powodziowe (szybki odpływ i zrzut wód deszczowych powoduje kumulację fali powodziowej). Dlatego Parki Rzeczne powinny w pierwszej kolejności być dostosowane do przejęcia wód deszczowych, ich retencji i podczyszczania. Same ciekі mogą również zostać przekształcone, tak aby miały większą odporność na dopływ wód deszczowych i zwiększoną pojemność dla ich przejęcia. W tym celu warto planować i realizować projekty zmierzające do renaturyzacji rzek i małych cieków na terenie Krakowa, odtwarzania ich połączeń hydraulicznych z wodami podziemnymi, naturalnego charakteru ich brzegów, meandrującego biegu. Warto wreszcie zmierzać do odtwarzania i przywracania małych cieków, które zostały ukryte pod powierzchnią terenu lub z innych powodów zniknęły.

Analogiczne działania warto podejmować również w przypadku powierzchniowych wód stojących, dążyć do tworzenia naturalnych i semi-naturalnych zbiorników wodnych, których zasadniczą rolą będzie zwiększenie lokalnej retencji i bioróżnorodności. Należy również dążyć do przekształcania w obiekty o takim charakterze istniejących zbiorników i oczek wodnych, a nawet zupełnie sztucznych zbiorników, w tym również zbiorników parkowych.

Jak wykazano w Aneksie II poświęconym ochronie przyrody, dostępność wody dla ptaków i drobnych zwierząt dziko żyjących w mieście, jest bardzo ograniczona. Dodatkową korzyścią, płynącą ze zrealizowania postulatów opisanych powyżej jest fakt, że wnioskowane rozwiązania i urządzenia gospodarki wodami opadowymi rozwiążą ten problem, przez zwiększenie obecności wody w krajobrazie miejskim i jej dostępność dla ptaków i zwierząt.

DROGI I PARKINGI

Infrastruktura drogowa ma szczególne znaczenie dla gospodarowania wodami deszczowymi. Generalnie jej powierzchnia w mieście rośnie, powstaje coraz więcej dróg, a zwłaszcza parkingów. Prymat samochodu jako podstawowego środka transportu osobowego jest bezdyskusyjny, pomimo wspierania rozwiązań alternatywnych (np. komunikacja zbiorowa czy rowerowa). Wody deszczowe spływające z infrastruktury drogowej stanowią szczególne wyzwanie, ze względu na podwyższone stężenia wielu związków, w tym również substancji toksycznych dla ludzi i szkodliwych dla środowiska (substancje ropopochodne, metale, w tym metale ciężkie, szereg innych).

Dla infrastruktury tego typu zalecane jest tworzenie ogrodów deszczowych, pasaży roślinnych i innych zielonych urządzeń do retencji i oczyszczania wody deszczowej (w mini- i mikroskali). Jest to szczególnie korzystne dla przechwytywania spływu powierzchniowego z ciągów pieszych, małych parkingów, dróg lokalnych i dojazdowych oraz ciągów pieszo-jezdnich. Kierowanie wód opadowych z tych terenów na obiekty zielonej infrastruktury może być realizowane za pomocą ażurowych krawężników lub nieciągłości w okrawężnikowaniu. Warto również promować i rozwijać wykorzystanie nawierzchni przepuszczalnych na tego typu obiektach. Generalnie boczne i osiedlowe drogi, po takich modyfikacjach, mogą pełnić doskonałe uzupełnienie błękitno-zielonej sieci. Jeśli systemy zielonej infrastruktury oraz zieleni przyulicznej połączy się ze sobą, mogą stanowić mini korytarz ekologicznym, którym będą migrować owady (w tym szczególnie istotne zapylacze) i ptaki, który będzie również stanowił system hydrauliczny dla wody deszczowej. Żeby ulice i drogi Krakowa pełniły te funkcje, poza wprowadzeniem rozwiązań zielonej infrastruktury, generalnie warto zwiększyć bioróżnorodność ich otoczenia. Zamiast nisko koszonych trawników, warto wprowadzać bioróżnorodne siedliska, łąki kwietne, zakrzewienia, choćby na części obszarów zieleni przyulicznej. Poza korzyściami dla przyrody, przyczyni się to również do poprawy hydrologii miasta.

Stosowanie takich rozwiązań w przypadku dróg o dużym natężeniu ruchu wymaga dodatkowego rozpoznania, jednak może być problematyczne ze względu na ekspozycję roślin na różnego rodzaju zanieczyszczenia (w tym sól drogową) oraz ewentualne zakłócenia i zagrożenia, wynikające z interakcji między ruchem samochodowym a przyrodą ożywioną i nieożywioną. Na pewno w pasach przyulicznych warto wprowadzać gatunki krzewów odpornych na zasolenie i płotków zimowych w celu ochrony drzew przyulicznych. Poza tym warto stosować urządzenia zielonej infrastruktury w celu retencji wody deszczowej i jej podczyszczania przed odprowadzeniem do kanalizacji (np. pasaże roślinne oraz inne rozwiązania, których zasadniczym zadaniem jest oczyszczanie wody).

Generalnie ze względu na ochronę drzew oraz innych roślin warto rozważyć rezygnację z soli do utrzymania zimowego dróg krakowskich i przejście na bardziej ekologiczne metody (żwir, inne niż sól środki chemiczne), zwłaszcza na ciągach transportowych położonych w okolicy obszarów cennych przyrodniczo, a także w przypadkach wyraźnej presji na drzewa przyuliczne (choroby, usychanie, słaby rozwój) oraz w obszarach, z których spływ z dróg może przedostawać się do wód powierzchniowych, zwłaszcza rzek i Parków Rzecznych, zbiorników i oczek wodnych.

BUDYNKI

Wszelkiego rodzaju budynki mogą również pełnić funkcje ekologiczne i ekohydrologiczne, a że są powszechne w przestrzeni miejskiej warto dążyć do wprowadzania modyfikacji tego typu, zarówno bezpośrednio w bryle budynku, jak jego otoczeniu. Najsensowniejszym i najbardziej skutecznym rozwiązaniem jest wprowadzanie zielonych dachów. Poza Starym Miastem oraz innymi obszarami historycznej zabudowy, nie ma większych przeszkód dla wprowadzania zielonych dachów na większości budynków, zarówno mieszkalnych, jak i tych o innych funkcjach. W przypadku nowopowstających budynków powinno to być wręcz rozwiązaniem dominujące, ze względów opisanych w poprzednim podrozdziale.

Modelowy dom czy budynek powinien być także wyposażony w rozwiązania zielonej infrastruktury, które pozwolą na retencję nadmiaru wody, spływającej z dachu (nawet jeśli to dach zielony), jej powolną infiltrację i odparowanie. Jest bardzo dużo ciekawych prostych rozwiązań (np. różnego rodzaju ogrody deszczowe, opisane w poprzednim podrozdziale), które poza tymi funkcjami, stanowią ozdobę i urozmaicenie zieleni ogrodowej czy przyulicznej.

Sensownym rozwiązaniem jest również promowanie zmiany modelu utrzymania i tworzenia ogródków przydomowych, a szczególnie odchodzenie od monokulturowych trawników (intensywnie koszonych i utrzymywanych, często podlewanych) na rzecz plantacji bioróżnorodnych, różnego rodzaju łąk kwiatnych, rosnących bujnie i naturalnie.

Szczególnie zalecane jest instalowanie pilotażowych systemów i rozwiązań zielonej infrastruktury w budynkach miejskich i innych publicznych, w szczególności często odwiedzanych i prestiżowych (jak na przykład Muzeum Narodowe w Krakowie, dla którego propozycje opisano w podrozdziale 5.2 tego Aneksu). Pozwoli to na popularyzację systemów zdecentralizowanych, a przez powagę i autorytet instytucji miejskich przełamać opory prywatnych inwestorów. Stworzone w ten sposób dobre przykłady i precedensy można popularyzować zarówno lokalnie jak na szerszą skalę. Pozwolą one również na zebranie doświadczeń z wykonawstwa i eksploatacji poszczególnych rozwiązań, zweryfikować ich użyteczność w krakowskich realiach i warunkach. Z drugiej strony podkreśli troskę UMK i innych instytucji miejskich i komunalnych o środowisko. Poza tym UMK jako duża instytucja, instalując tego typu rozwiązania przyczyni się do stworzenia rynku na specyficzne usługi projektowe i wykonawcze, co również przyczyni się do polepszenia potencjału praktycznego wprowadzania urządzeń zielonej infrastruktury w przestrzeni miejskiej Krakowa.

3.4. ZALECENIA DODATKOWE

Poza postulatami i rozwiązaniami opisywanymi powyżej, zmierzającymi do popularyzacji zielonej infrastruktury i tworzenia jej urządzeń w Krakowie, warto również podejmować różnego rodzaju działania, wykraczające poza zakres tematyczny niniejszego Aneksu, czy nawet „Kierunków...”, które jednak przyczynią się do kompleksowej poprawy gospodarki wodami deszczowymi, hydrologii miasta, a również do lepszego zarządzania zielenią i gospodarką komunalną. Warto na przykład rozważyć:

- powołanie interdyscyplinarnej grupy roboczej,
- wykorzystanie modelowania komputerowego,
- poprawa współpracy z inwestorami.

Interdyscyplinarna grupa robocza

Celem działania interdyscyplinarnej grupy roboczej byłoby wypracowanie systemowej ochrony zasobów wodnych, w skład której mogłyby wchodzić m.in.:

- narzędzia finansowe (w tym: opłaty za deszczówkę, opłaty za zrzut wód z odwadniania, dopłaty do instalacji deszczowych);
- narzędzia prawa lokalnego (ograniczenia zrzutu wód deszczowych do kanalizacji miejskiej lub wód powierzchniowych, nakaz retencji wody deszczowej i/lub odprowadzenia jej do gruntu w obrębie nieruchomości);
- kompleksowy system wsparcia dla inwestorów i instalatorów;
- działania edukacyjne i popularyzatorskie;
- zaplanowanie i realizacja instalacji pilotażowych na terenach i obiektach miejskich, a także innych prestiżowych i o dużej dostępności i widoczności (np. uczelnie, szkoły, kościoły);
- transfer najnowszych osiągnięć naukowych i dobrych przykładów do praktyki zarządzania terenami zielonymi w Krakowie.

W skład tej grupy roboczej wchodziłoby przedstawicieli władz lokalnych, w tym odpowiednich wydziałów UMK (np. WS, BP, AU), spółek i instytucji miejskich (np. ZZM, MPWiK), krakowskich uczelni wyższych oraz organizacji pozarządowych.

Modelowanie komputerowe

Stworzenie modeli komputerowych pozwalających przewidywać wpływ inwestycji na stosunki wodne (zagrożenie podtopieniami z jednej strony, a zmniejszenie zasilania wód gruntowych z drugiej) pozwoli na zidentyfikowanie obszarów szczególnie zagrożonych i/lub kluczowych dla kształtowania stosunków wodnych i bezpieczeństwa powodziowego, a także na dobór skutecznych interdyscyplinarnych metod naprawczych i profilaktycznych (połączenie szarej i zielonej infrastruktury, retencji lokalnej, powierzchni przepuszczalnych, wykorzystanie wód deszczowych na cele o niższych wymaganiach jakościowych itp.). Na rynku dostępnych jest wiele sprawdzonych, szeroko stosowanych programów, zarówno darmowych (np. SWMM – Storm Water Management Model udostępniany przez US EPA), jak i komercyjnych (np. MIKE Urban i WEST firmy DHI, StormCAD i CivilStorm firmy Bentley), które można wykorzystać w tym celu.

Współpraca z inwestorami

W podrozdziale 2.3 niniejszego Aneksu zasygnalizowano konieczność zwiększenia kontroli nad inwestycjami dla zachowania i poprawy stosunków wodnych w Krakowie. Jednak samo zaostrenie przepisów i wzrost poziomu kontroli nie przyniesie rezultatów, jeśli nie zostanie połączone z narzędziami wsparcia dla inwestorów. Szczególnie wskazane wydaje się opracowanie katalogu dobrych praktyk i urządzeń do tworzenia zdecentralizowanych systemów, które inwestorzy mogliby dobrowolnie stosować jako alternatywę dla wąskiego zestawu obecnie stosowanych rozwiązań. Warto również sukcesywnie opracowywać szczegółowe wytyczne do projektowania i realizacji obiektów tego typu. Pozwoliłoby to zainteresowanym na stosowanie tego typu rozwiązań. Wraz z realizacją projektów tego typu, warto monitorować i badać ich funkcjonowanie (mogłoby to być również zadanie opisanego powyżej zespołu interdyscyplinarnego), opisywać i popularyzować je w skali miasta. Pozwoliłoby to rozwijać swego rodzaju kulturę techniczną i praktyczną wiedzę w skali miasta, a dzięki krakowskim uczelniom, można liczyć na publikację tych osiągnięć w całej Polsce i poza granicami.

W dalszej perspektywie można wykorzystać powyższy katalog projektowy i bazę dobrych praktyk, do stworzenia kompleksowego systemu oceny inwestycji i inwestorów, po to by wyróżniać najbardziej przyjaznych dla zieleni Krakowa, stosujących najbardziej zaawansowane i kompleksowe rozwiązania. Mogłoby się to wiązać z otrzymaniem certyfikatu, który byłby zarządzany i przyznawany przez UMK i/lub krakowskie organizacje pozarządowe. Inna możliwość to zbudowanie listy kontrolnej, która służyłaby realnemu wsparciu inwestycji zgodnych z zasadami ekohydrologii, dzięki czemu inwestycje spełniające określoną ilość szczegółowych warunków (np. zielone dachy, ogrody deszczowe, odpowiedni obszar biologiczne czynny, itp.) otrzymywałyby wsparcie ze strony UMK (niekoniecznie w finansowej formie, może to być np. przyspieszone postępowanie decyzyjne, komunikacja medialna przez UMK i ZZM).

4. DOBRE PRAKTYKI I PRZYKŁADY

4.1. GREEN CITY, CLEAN WATERS, FILADELFIA, USA

Green City, Clean Waters (GCCW) to zaplanowany na dwadzieścia pięć lat i zakrojony na szeroką skalę program miasta Filadelfia, bazujący na wykorzystaniu zielonej infrastruktury do stworzenia zrównoważonej gospodarki wodą deszczową. Program został opracowany z powodu postępującej degradacji zasobów wód powierzchniowych, jak również ze względu na uszczelnienie miasta i wzrost udziału powierzchni nieprzepuszczalnych, co spowodowało brak możliwości retencji i infiltracji wody deszczowej do gruntu. To z kolei wiązało się z nadmiernym obciążeniem kanalizacji miejskiej (zarówno ilościowym, jak i jakościowym, związanym z wnoszeniem ze ściekami deszczowymi różnorodnych zanieczyszczeń do kanalizacji). Program przede wszystkim zakłada stosowanie różnego rodzaju systemów hydrofitowych (zaprezentowanych na fotografiach poniżej), np. zielonych wysepek, wcinających się w jezdnię, ogrodów deszczowych w różnorodnych skalach i formach, zielonych rowów i niecek chłonnych. Rozwiązania zielonej infrastruktury uzupełniane są instalacją urządzeń infiltrujących, wprowadzaniem przepuszczalnych nawierzchni na ciągi piesze i inne powierzchnie zwykle uszczelniane. To wszystko sprawia, że woda deszczowa jest zatrzymywana w zlewni, a następnie odparowana lub infiltrowana do gruntu, jedynie niewielka jej ilość trafia do kanalizacji (po oczyszczeniu w systemach hydrofitowych). Władze miasta podkreślają fakt, że program wydatnie przyczynia się do zrównoważonego rozwoju Filadelfii, gdyż poza rozwiązaniem problemu wód deszczowych, przynosi korzyści dla bioróżnorodności i ochrony przyrody, oszczędności finansowe (pełna implementacja programu ma przynieść oszczędności rzędu 5,6 miliarda dolarów), a przede wszystkim korzyści społeczne (zwiększenie areału terenów zieleni miejskiej, poprawa potencjału rekreacyjnego i estetyki, wzrost wartości nieruchomości wyposażonych w rozwiązania zielonej infrastruktury, sekwestracja CO₂, poprawa lokalnego mikroklimatu i zmniejszenie efektu wyspy ciepła). Kluczowa jest filozofia szerokiego i powszechnego wprowadzenia zalecanych zasad na obszarze całego miasta, dlatego program nie ogranicza się tylko do terenów komunalnych, ale oferuje również komponenty przeznaczone dla mieszkańców, biznesu, szkół i administracji osiedli. Podejście to zaowocowało powstaniem w skali miasta ponad 1600 różnorodnych urządzeń zielonej infrastruktury, przekształceniem i zazielenieniem obszarów o łącznej powierzchni niemal 400 ha, tak aby pełniły funkcje retencji i oczyszczania wód deszczowych. Dzięki wszystkim tym połączonym działaniom, na obecnym etapie realizacji programu (piąty rok jego funkcjonowania) rocznie do kanalizacji miejskiej spływa o 5,5 mln m³ wód deszczowych mniej.

Dodatkowe informacje

- Bergier T. i in. (red.), Woda w mieście. Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 5, Fundacja Sendzimira, Kraków 2014.
- www.phillywatersheds.org, dostęp: 11.2016.



Przykłady obiektów zielonej infrastruktury instalowanych w Filadelfii: zielona mini niecka filtracyjna (po lewej), oczyszczalnia hydrofitowa wód deszczowych o zwierciadle swobodnym (po prawej)



Przykłady rozwiązań zrealizowanych w ramach programu GCCW w Filadelfii: boisko pokryte nawierzchnią przepuszczalną (po lewej), zielona mini niecka filtracyjna z pasażem roślinnym (po środku), ogród deszczowy w gruncie (po prawej)



Fot. www.phillywatersheds.org (x6)

Wysepka spowalniająca ruch, służąca również jako element retencji i podczyszczania wód deszczowych spływających z jezdni

4.2. RAINGARDENS, MELBOURNE, AUSTRALIA

Raingardens to program wspomagający zakładanie ogrodów deszczowych na terenach prywatnych i publicznych, w celu skutecznego oczyszczania i retencji wód deszczowych w krajobrazie miejskim. Mieszkańcy i deweloperzy otrzymują wsparcie w formie szczegółowych wytycznych projektowych i instruktaży video. Tworzona jest silna społeczność wokół programu (mapa online, forum, itp.). Istotny jest również edukacyjny aspekt projektu – regularnie organizowane są szkolenia, wydarzenia i konkursy. Ogrody deszczowe promowane i instalowane w ramach tego programu to obiekty w bardzo małej skali, o niewielkich rozmiarach i pojemnościach, instalowane na odpływach pojedynczych rynien. Jednak dzięki powszechnemu ich wprowadzaniu w przestrzeni całego miasta, tworzą rozproszony skuteczny system wspomagania gospodarki wodami opadowymi, przyczyniając się do znacznego odciążenia kanalizacji miejskiej. Dzieje się to przede wszystkim dzięki retencji wody deszczowej, oczyszczeniu jej w strefie korzeniowej roślin, a także częściowemu jej odparowaniu. Realizacja tych obiektów skutkuje również zmianami w krajobrazie Melbourne, poprawą bioróżnorodności i mikroklimatu lokalnego, wspiera aktywność mieszkańców i tworzenie się lokalnych partnerstw i grup sąsiedzkich.

Najlepszym potwierdzeniem skuteczności i efektywności programu jest fakt, że jego założenia i narzędzia stały się inspiracją dla bardzo wielu podobnych inicjatyw na całym świecie. Również w Polsce, Fundacja Sendzimira, we współpracy z przedstawicielami miasta Melbourne, opracowała wytyczne projektowe ogrodów deszczowych, filmy pokazujące sposób ich instalacji i korzyści płynące z ich stosowania, wspiera także lokalne inicjatywy tworzenia takich ogrodów. Ogrody tego typu powstały już m.in. w Łodzi i Markach, planowane są kolejne m.in. w Pile, Katowicach i Lublinie.

Dodatkowe informacje

- Bergier T., Kronenberg J. (red.), Przyroda w mieście. Zrównoważony Rozwój - Zastosowania 3, Fundacja Sendzimira, Kraków, 2012.
- www.melbournewater.com.au/raingardens, dostęp 11.2016.
- www.sendzimir.org.pl/publikacje/ogrody-deszczowe, dostęp 11.2016.



Ogród deszczowy w Melbourne (po lewej). Budowa ogrodu deszczowego w Łodzi (po prawej)

4.3. HOHLGRABENÄCKER, STUTTGART, NIEMCY

W trakcie planowania i budowy osiedla Hohlgrabenäcker wdrożono zdecentralizowany system zagospodarowania wód deszczowych. Było to głównie uwarunkowane ograniczonymi możliwościami konwencjonalnego odprowadzenia tych wód, wynikającymi z niskiej przepustowości kanalizacji. Dodatkową motywacją była chęć obniżenia kosztów bieżących, w tym minimalizacja wydatków na opłaty za deszczówkę. Poza tym, gleby na obszarze przewidzianym pod zabudowę słabo nadawały się do infiltracji wód deszczowych, a strome zbocza dodatkowo utrudniały zastosowanie tego rozwiązania. System zagospodarowania wód deszczowych na osiedlu składa się ze stosunkowo szerokiej gamy powiązanych ze sobą rozwiązań. Przede wszystkim na większości budynków (obligatoryjnie w gęstej zabudowie) zastosowano zielone dachy z miąższością nie mniejszą niż 12 cm, co zapewnia retencję wody deszczowej bezpośrednio w miejscu opadu, ale również przyczynia się do obniżenia temperatury powietrza, spełnia funkcje estetyczne i przyczynia się do częściowego odzyskania powierzchni biologicznie czynnej. Sumaryczna powierzchnia zainstalowanych dachów zielonych wynosi 18 300 m² (przy całkowitej powierzchni osiedla 16,7 ha). W przypadku budynków, na których nie zastosowano zielonych dachów oraz terenów utwardzonych zastosowano zbiorniki podziemne, które magazynują tymczasowo wodę wykorzystywaną do nawadniania ogrodów, spłukiwania toalet oraz innych celów o odpowiednich wymaganiach jakościowych. Wszędzie tam gdzie było to możliwe zastosowano przepuszczalne nawierzchnie (ich sumaryczna powierzchnia to 16 000 m²). W projektowaniu osiedla, a w szczególności systemu gospodarki deszczowej, zastosowano podejście interdyscyplinarne, w proces zaangażowani byli eksperci z różnych dziedzin: urbanistyki i architektury, inżynierii wodnej, architektury krajobrazu. Taki zdecentralizowany system jest bardzo efektywny finansowo, zarówno na etapie instalacji, jak i w eksploatacji. Oszczędności w porównaniu do konwencjonalnego rozwiązania wynikają z mniejszych opłat za deszczówkę, mniejszego zużycia wody wodociągowej oraz z uniknięcia drogich inwestycji, które byłyby niezbędne przy wykorzystaniu konwencjonalnego podejścia (np. zapewnienie obligatoryjnej w takim przypadku objętości retencjonującej wody deszczowe w wysokości 1400 m³).



Budowa osiedla Hohlgrabenäcker: wielorodzinne budynki z obligatoryjnymi zielonymi dachami (po lewej) i przepuszczalna nawierzchnia chodników (po prawej)

Dodatkowe informacje

- Bergier T. i in. (red.), Woda w mieście. Zrównoważony rozwój – zastosowania 5, Fundacja Sendzimira, Kraków, 2014.
- Ansel W., Diem A., Sustainable Urbanism with Green Roofs – Natural Stormwater Management. Materiały z międzynarodowej konferencji REAL CORP 2010 Cities for Everyone – Liveable, Healthy, Prosperous. Promising vision or unrealistic fantasy? Wiedeń 2010.

4.4. AUGUSTENBORG, MALMÖ, SZWECJA

Osiedle Augustenborg zostało zrewitalizowane pod kątem zminimalizowania ryzyka powodzi i podtopień, które występowały na tym terenie. Wprowadzono szereg rozwiązań zrównoważonej gospodarki wodami deszczowymi, tworzących system, którego funkcjonowanie naśladuje obieg wody w naturalnych ekosystemach. Budynki osiedlowe pokryte są zielonymi dachami o łącznej powierzchni ok. 11 000 m². Co przyczynia się do zwiększenia retencji wody na dachach i znacznego zmniejszenia ilości wód opadowych z nich spływających. Nadmiar wód deszczowych zbiera otwarty system kanalizacji deszczowej, złożony z systemów hydrofitowych, wspomaganych rowami i kanałami oraz stawami. Dzięki bioretencji w systemach hydrofitowych, znakomita część wód infiltruje do gruntu, dzięki temu ulega oczyszczeniu, a następnie zasila wody podziemne. W wyjątkowych sytuacji, podczas deszczy nawalnych i długotrwałych, istnieje możliwość odprowadzenia nadmiaru wody poprzez otwory przelewowe kanałów i okresowe zalanie niektórych terenów zielonych. Stworzony system pozwolił przekształcić problem wód opadowych w atut osiedla, przyczyniając się do wzrostu bioróżnorodności i znacznej poprawy estetyki oraz atrakcyjności terenu dla mieszkańców. W 2010 roku osiedle zostało wyróżnione nagrodą World Habitat Award.



Malmö, Augustenborg: oczko wodne do retencji wody deszczowej (po lewej), kanał deszczowy i przelewy odprowadzające nadmiar deszczu na teren zalewowy (po prawej)

Dodatkowe informacje

- Wojciechowska E. i in., Zrównoważone systemy gospodarowania wodą deszczową. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2015.
- Sustainable urban development in Malmö – Augustenborg and Western Harbour. City of Malmö 2008.

4.5. MARINA MOKOTÓW, WARSZAWA

Marina Mokotów to osiedle w Warszawie, zaprojektowane przez pracownię APA Kuryłowicz & Associates. Zastosowano tam nowoczesne i atrakcyjne połączenie przestrzeni publicznej z błękitno-zielonym systemem zagospodarowania wód deszczowych. W centralnej części osiedla znajduje się zbiornik zasilany wodami opadowymi z dachów 70 budynków jednorodzinnych i bliźniaczych, a także 17 budynków wielorodzinnych. Zbiornik otoczony jest zielenią oraz alejkami spacerowymi. Powierzchnia biologicznie czynna stanowi aż 60% terenu. Życie mieszkańców koncentruje się wokół wodno-parkowej części osiedla. Detale małej architektury, takie jak mostki, tarasy, wielopoziomowe alejki i pomosty stanowią atrakcję wizualną, podobnie jak zróżnicowane uformowanie nabrzeży (obsadzone roślinnością, kamienne oraz żwirowe). Dodatkowo recykulacja wody pozwala na działanie efektownych kaskad, ścian wodnych i fontann.

Dodatkowe informacje

- Januchta-Szostak A., Woda w miejskiej przestrzeni publicznej. Modelowe formy zagospodarowania wód opadowych i powierzchniowych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011.
- marinamokotow.pl, dostęp 11.2016.
-



Osiedle Marina Mokotów, Warszawa

5. PROPOZYCJE ROZWIĄZAŃ ZDECENTRALIZOWANYCH DLA WYBRANYCH OBSZARÓW W KRAKOWIE

5.1. Park na Woli Duchackiej

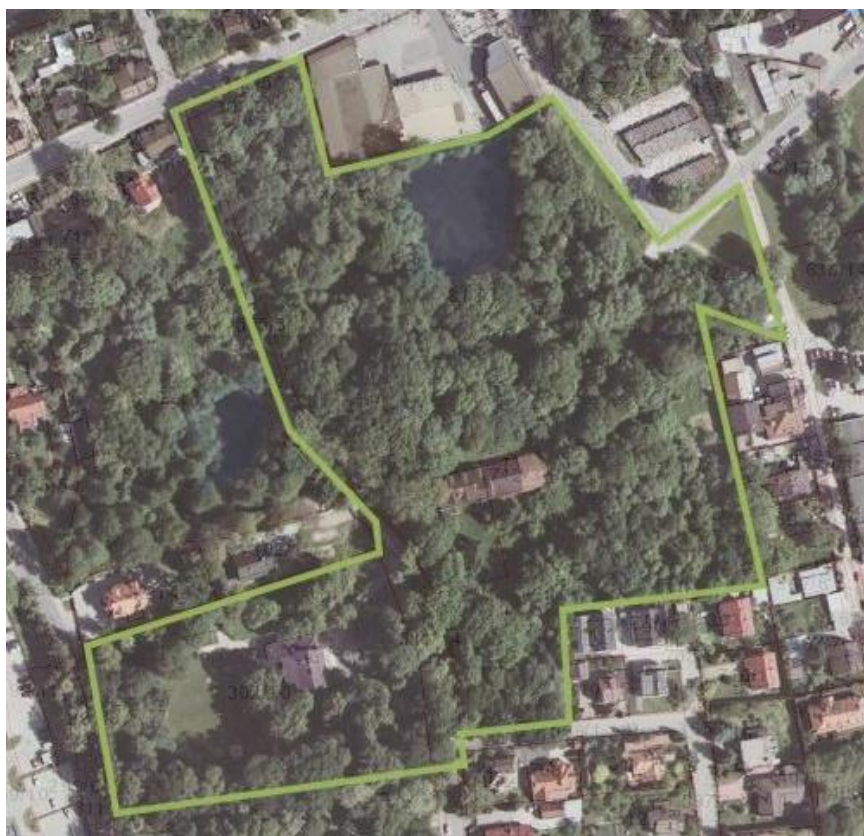
Charakterystyka obszaru studialnego

Obszar studialny stanowią tereny zieleni na Woli Duchackiej, w południowej części Krakowa, w Dzielnicy XI Podgórze Duchackie. Na obszarze tym znajduje się podworski park, położony między ulicami Albańską, Macedońską, Malborską, Estońską i Laszczki, a także zlokalizowane przy ulicy Estońskiej Przedszkole Samorządowe nr 51, stanowiące integralną część historycznego parku. Obszar studialny od strony wschodniej graniczy z ulicą Macedońską, Albańską oraz działkami o zabudowie jednorodzinnej, a od strony zachodniej z ulicą Białoruską (na wysokości przedszkola) i Estońską, przy której znajdują się działki prywatne. Od strony północnej granicę wyznacza ulica Malborska oraz budynek usługowo-magazynowy, natomiast od strony południowej ulica Laszczki oraz zabudowa jednorodzinna.

Na obszarze studialnym znajdują się budynki historyczne: tzw. Nowy Dwór (obecnie przedszkole), jednopiętrowy Stary Dwór z wozownią oraz ruiny pozostałe po dawnych obiektach, takich jak spichlerz czy stajnie. Ulica Estońska stanowi dawną aleję, w skład której wchodzi zabytkowe dęby. W układzie historycznym na analizowanym obszarze funkcjonowały trzy stawy hodowlane. Największy z nich znajduje się w północnej części obszaru. Drugi staw uległ wyschnięciu i zarósł roślinnością. Trzeci staw, znajdujący się na działce prywatnej, leży poza zachodnią granicą analizowanego obszaru. Staw ten jest zasilany wodami zaskórnymi i wodami opadowymi z kanalizacji przy ulicy Białoruskiej. Woda z tego stawu, przepływa pod ulicą Estońską do rowu, przebiegającego przez obszar wyschniętego stawu, do stawu głównego.

Obszar studialny znajduje się na zboczu o północnej ekspozycji, opada od ulicy Laszczki (245 m n.p.m.) w kierunku ulicy Malborskiej (233 m n.p.m.). Najbardziej nachylony teren występuje między ulicą Laszczki i dworem oraz w pasie między dworem i stawem. Mniejszy spadek można natomiast zauważyć w obszarze budynku „Starego Dworu” oraz w obrębie od ulicy Malborskiej do stawu.

Tereny zielone znajdujące się na badanym obszarze odznaczają się dużym zagęszczeniem drzew i krzewów (w większości samosiewów), co czyni go trudno dostępnym. W części centralnej parku dominuje cenny starodrzew z pomnikami przyrody, który tworzą głównie jesiony oraz olchy. Od południowej strony Starego Dworu położony jest urządzony ogród z ozdobnymi nasadzeniami o dużych walorach estetycznych. Generalnie park wymaga prac pielęgnacyjnych, prześwietlenia drzewostanu, cięć fitosanitarnych oraz usunięcia samosiewów i wybranych drzew. Obecnie w parku nie ma utworzonych ciągów komunikacyjnych, oprócz gruntowej drogi dojazdowej od ulicy Estońskiej do Starego Dworu. Poza tym istnieją jedynie wydeptane ścieżki.



Obszar studialny – park na Woli Duchackiej

Dla obszaru studialnego istnieje „Koncepcja rewaloryzacji zespołu dworsko-parkowego na Woli Duchackiej wraz z adaptacją starego dworu” opracowana przez pracownię projektową Gajda Architektura Krajobrazu. Poza rewitalizacją i uporządkowaniem drzewostanu na terenie parku, zakłada ona również wprowadzenie układu komunikacyjnego w postaci alejek spacerowych, dwóch parkingów oraz terenów rekreacyjnych, a także częściowe odtworzenie dawnego stawu wodnego. Przewiduje również renowację budynku Starego Dworu oraz adaptację ruin, które mogłyby spełniać funkcję altany parkowej.

Koncepcja zagospodarowania wód deszczowych

Bazując na założeniach wspomnianej powyżej Koncepcji opracowano wizję zagospodarowania terenu studialnego, zidentyfikowano również najważniejsze obszary pokryte powierzchniami nieprzepuszczalnymi, na których pojawiać się będzie spływ powierzchniowy wód opadowych. Dla wszystkich tych obszarów zaproponowano system zagospodarowania wód opadowych, bazujący na rozwiązaniach zielonej infrastruktury, co zapewni wkomponowanie proponowanych urządzeń w otaczający krajobraz, zachowanie charakteru obszaru parkowego, a wręcz podkreślenie jego atrakcyjności. Oczywiście zasadniczym założeniem przy projektowaniu tych urządzeń jest całościowe zagospodarowanie wód deszczowych, poprzez ich zatrzymanie i wykorzystanie w miejscu wystąpienia opadu, a co za tym idzie ograniczenie odpływu do kanalizacji deszczowej. Udało się zrealizować ten cel, jedynymi urządzeniami wyposażonymi w awaryjne przelewy do kanalizacji, znajdującej się na tym terenie są: niecka filtracyjna oczyszczająca wody z drogi oraz ogrody deszczowe przechwytyjące spływ z dachów budynków. Jednak również te urządzenia zapewnią retencję i zagospodarowanie większości

dopływających do nich wód deszczowych, a jedynie w przypadku intensywnych opadów nadmiar wody będzie odprowadzany do kanalizacji. Zastosowane systemy oprócz funkcji przechwytywania spływów, retencjonowania i infiltracji zapewniają również sprawne oczyszczanie wód deszczowych, jak opisano to w rozdziale 3.1.

Szczegóły dotyczące konstrukcji i zasady działania wszystkich zaproponowanych w tej koncepcji urządzeń zostały opisane w rozdziale 3.2 niniejszego Aneksu. Poniżej przedstawiono jedynie dodatkowe informacje związane z konkretną ich aplikacją w warunkach analizowanego parku, w tym sposób podłączenia, wymiary i inne specyficzne parametry.

Dla wód deszczowych zbieranych z dachu budynku przedszkola (Z1 na rysunku poniżej) zaprojektowano dwa ogrody deszczowe. Każdy z ogrodów będzie miał powierzchnię 3,42 m², formę kwadratowej skrzyni o boku 1,85 m i wysokości 0,95 m, zamontowanej bezpośrednio przy wylocie rynny odprowadzającej wodę z dachów. Podobny ogród deszczowy proponuje się dla budynku niemieszkalnego znajdującego się nieopodal przedszkola (Z2). W tym przypadku jego powierzchnia wynosi 0,64 m², a wymiary poziome: 0,8 x 0,8 m, przy głębokości 0,95 m.

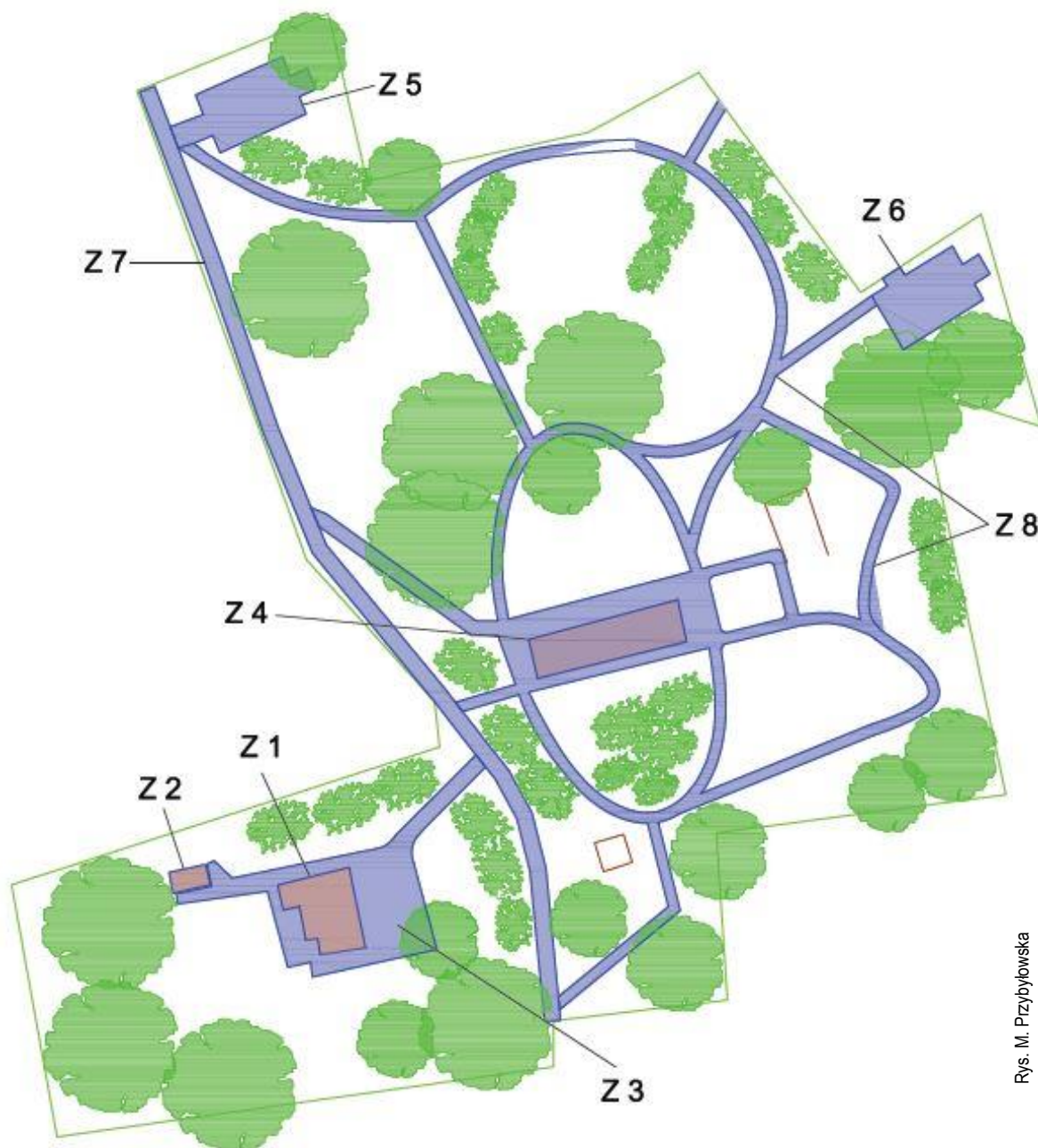
Spływ wód opadowych pochodzących z placu znajdującego się wokół budynku przedszkola (Z3) proponuje się zbierać za pomocą krawężnika odwadniającego, a następnie kierować grawitacyjnie do oczyszczalni hydrofitowej o zwierciadle swobodnym o powierzchni ok. 50 m², średniej głębokości 40 cm, długości 10 m i szerokości 5 m. Sumaryczne powierzchnie poszczególnych części funkcjonalnych obiektu hydrofitowego będą wynosiły: w przypadku zbiornika wstępnego 2,5 m², mokradła głębokiego 22,5 m², mokradła płytkiego 22,5 m², strefy buforowej 2,5 m² i zbiornika końcowego 2,5 m².

Wody opadowe z powierzchni dachu Starego Dworu (Z4) będą zagospodarowane w zielonej niecce chłonnej o powierzchni około 60 m² (wymiary poziome: 6 x 10 m) i głębokości roboczej około 30 cm. Niecka będzie dodatkowo wyposażona w przelew awaryjny, ustabilizowany okładziną kamienną, odprowadzający ewentualny nadmiar wody opadowej na przyległy teren zielony. Przewiduje się również wykorzystanie nawierzchni przepuszczalnej w przypadku tworzenia infrastruktury komunikacyjnej wokół budynku Starego Dworu, w celu ograniczenia spływu powierzchniowego i zagospodarowania wody opadowej poprzez infiltrację do gruntu bezpośrednio pod powierzchnią drogową i/lub parkingową.

Dla każdego z planowanych parkingów (Z5 przy rogu ulic Malborskiej i Estońskiej i Z6 przy ulicy Macedońskiej) założono 10 miejsc parkingowych oraz 1 miejsce dla rowerów. Spływ wód opadowych z tych parkingów kierowany będzie do systemów bioretencyjnych, którymi są infiltracyjne ogrody deszczowe o powierzchni 7,0 m² każdy (wymiary poziome: 3,0 x 2,5 m) i głębokości 0,75 m. Ogrody będą dodatkowo wyposażone w rurę przelewową, umieszczoną ok. 10 cm nad powierzchnią warstwą ogrodu, w celu odprowadzenia nadmiaru wody, zbierającego się w niecce ogrodu w przypadku ulewnych lub długotrwałych opadów. Ten awaryjny nadmiar będzie odprowadzany do kanalizacji deszczowej, która znajduje się w ulicy Malborskiej (dla parkingu Z5) oraz w ulicy Macedońskiej (dla parkingu Z6).

Wody deszczowe z ulicy Estońskiej (Z7), która charakteryzuje się niewielkim natężeniem ruchu, odprowadzane będą za pomocą muldy podłużnej umieszczonej wzdłuż jezdni do suchej niecki filtracyjnej, o powierzchni 120 m² (wymiarach poziomych 8 x 15 m) i głębokości roboczej 0,3 m. Drenaż znajdujący się w części dolnej niecki będzie odprowadzał do kanalizacji deszczowej przy ulicy Malborskiej nadmiar wody deszczowej, która w przypadku nawalnych deszczy nie zdoła infiltrować do gruntu.

W przypadku alejek spacerowych (Z8) i wszelkich innych ciągów komunikacyjnych planowanych do wykonania na terenie parku, proponuje się zastosowanie przepuszczalnej nawierzchni mineralnej. Dzięki temu niemal cała objętość wód opadowych zostanie zagospodarowana przez infiltrację do gruntu pod infrastrukturą komunikacyjną. Dodatkowo proponuje się wykonanie krawężników odwadniających i/lub nieciągłych wzdłuż ścieżek i alejek, dzięki czemu ewentualny nadmiar wody zostanie odprowadzony na okoliczne tereny zielone, nie będzie utrudniał możliwości korzystania z infrastruktury.



Rys. M. Przybyłowska

Zagospodarowanie obszaru studialnego, z zaznaczonymi obszarami odwadnianymi:
Z1 – Nowy Dwór (przedszkole), Z2 – budynek niemieszkalny, Z3 – powierzchnia utwardzona,
Z4 – Stary Dwór, Z5 i Z6 – parkingi, Z7 – droga, Z8 – alejki spacerowe

TABELA. PROPONOWANE URZĄDZENIA DO ZAGOSPODAROWANIA WÓD OPADOWYCH

Teren odwadniany	Powierzchnia	Proponowane urządzenia
Z1: dach budynku	338,78 m ²	2 ogrody deszczowe w skrzyniach (3,42 m ² każdy)
Z2: dach budynku	31,53 m ²	ogród deszczowy w skrzyni (0,64 m ²)
Z3: plac	936,92 m ²	oczyszczalnia hydrofitowa (50 m ²), krawężnik odwadniający
Z4: dach budynku	570,78 m ²	niecka chłonna (4,98 m ³)
Z5: parking	245,25 m ²	infiltracyjny ogród deszczowy (7,00 m ²)
Z6: parking	245,25 m ²	infiltracyjny ogród deszczowy (7,00 m ²)
Z7: droga	1375,00 m ²	mulda podłużna + niecka filtracyjna
Z8: alejki parkowe	3616,93 m ²	nawierzchnia przepuszczalna, krawężniki odwadniające



Rys. M. Przybyłowska

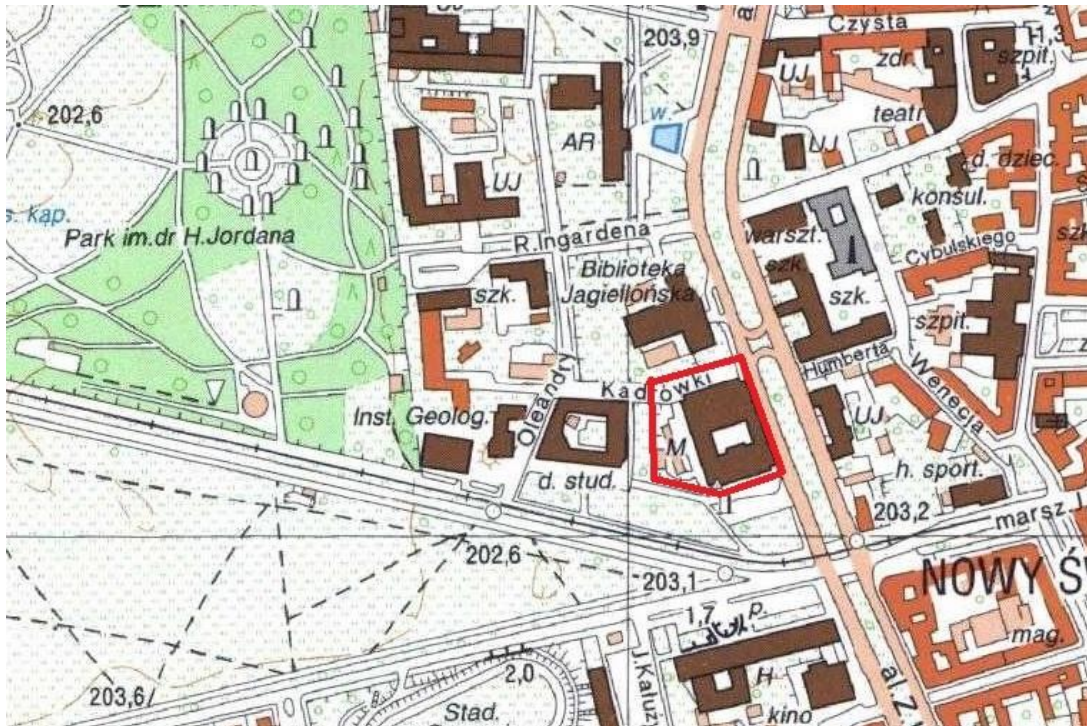
Proponowana koncepcja zielonej infrastruktury do zagospodarowania wód opadowych dla parku na Woli Duchackiej

5.2. MUZEUM NARODOWE W KRAKOWIE WRAZ Z OTOCZENIEM

Charakterystyka obszaru studialnego

Obszar studialny stanowi gmach główny Muzeum Narodowego w Krakowie (MNK), znajdujący się przy al. 3 Maja 1 w Krakowie, wraz z terenami przyległymi. Teren ten zlokalizowany jest w centrum Krakowa, w sąsiedztwie Błoi Krakowskich i niedalekiej odległości od Parku Jordana. Obszar ograniczony jest od wschodu aleją Adama Mickiewicza. Od południa gmach Muzeum graniczy ze strefą ochrony widoku, ze względu na ważną rolę budynku dla kultury miasta oraz jego modernistyczną bryłę. Po stronie zachodniej MNK znajduje się ogrodzona działka, na której zlokalizowane są trzy budynki gospodarcze, parking zielony i droga dojazdowa, na pozostałej części znajdują się trawniki wraz z rosnącymi na nich drzewami i krzewami. Po stronie północnej MNK znajduje się działka, będąca przedłużeniem ulicy oddzielającej budynek od terenów Biblioteki Jagiellońskiej, pełniąca funkcję drogi dojazdowej dla samochodów dostawczych oraz parkingu (nawierzchnia głównie asfaltowa, częściowo trawiasta). Na rysunku poniżej przedstawiono aktualne zagospodarowanie terenu, w tym kanalizację ogólnospławną, do której spływają wody deszczowe z obszaru studialnego. W stanie obecnym, chodniki i drogi stanowią 19,5% całości obszaru studialnego, dach gmachu MNK – 59,7%, dachy budynków gospodarczych – 5,1%, tereny zielone – 15,7%.

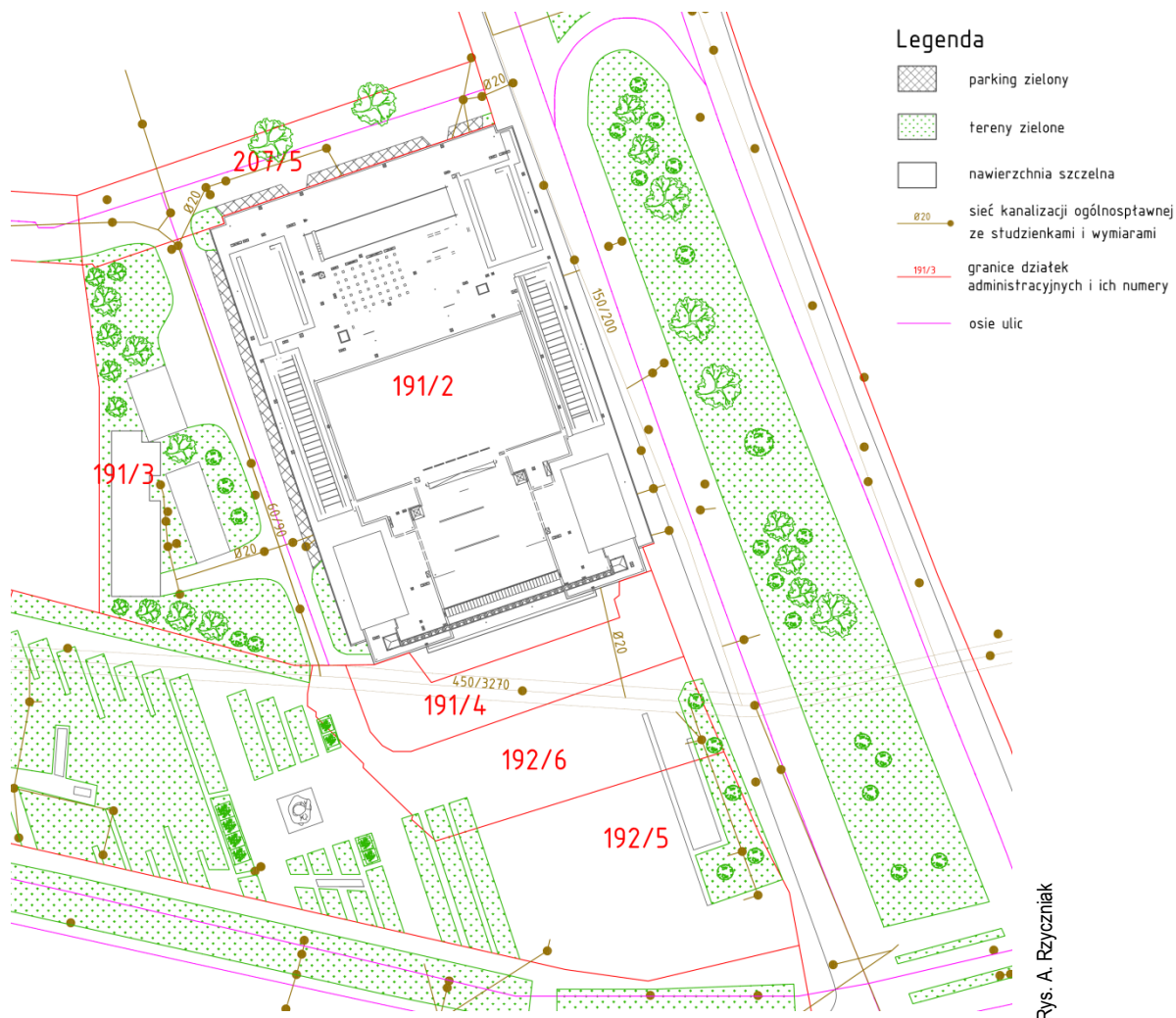
W 2015 roku został rozpisany konkurs na opracowanie koncepcji architektonicznej przebudowy, rozbudowy i/lub nadbudowy Gmachu Głównego MNK. Zwycięski projekt autorstwa pracowni Stelmach i Partnerzy Biuro Architektoniczne z Lublina realizuje ideę zielonego muzeum, zawartą w założeniach konkursowych. Między innymi zakłada pokrycie przeważającej części dachu gmachu MNK dachem zielonym oraz wprowadzenie roślinności na jego ścianie północnej (wizualizacja na rysunku poniżej). Ciekawa jest również propozycja zagospodarowania terenu wokół gmachu. Działka po stronie zachodniej gmachu Muzeum ma pozostać otwarta (bez ogrodzenia), stanowiąc przestrzeń otwartą trawiastą, przeciętą dwiema ścieżkami – wzdłuż zachodniej ściany gmachu oraz od strony terenu Klubu Studenckiego Żaczek. Z kolei działka północna ma pełnić funkcję przejścia pieszo-rowerowego, łączącego al. A. Mickiewicza z ul. Kadrówki. Przewidziano również odnowę roślinności wokół Muzeum. Na rysunku na stronie 61 zaprezentowano mapę zagospodarowania terenu studialnego zgodną ze zwycięskim projektem konkursowym. Wprowadzenie wszystkich ustaleń tego projektu spowodowałoby znaczne zmiany pokrycia terenu: chodniki i drogi stanowiłyby 22,5%, dach zielony na gmachu MNK – 46,0%, pozostała część dachu (konwencjonalna) – 13,8%; tereny zielone – 17,8%.



Obszar studialny – Muzeum Narodowe w Krakowie wraz z otoczeniem



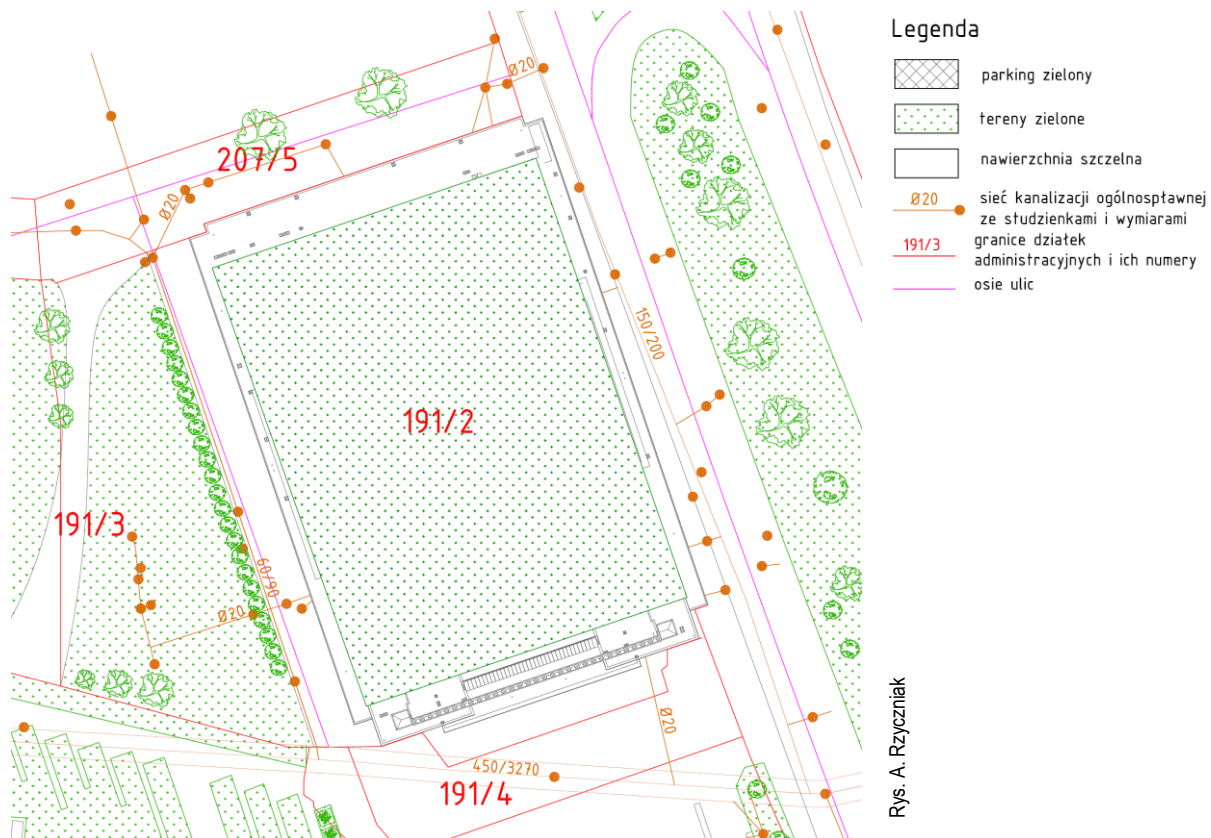
Wizualizacja widoku na gmach główny Muzeum Narodowego w Krakowie
od strony południowej (MNK, 2016)



Obecne zagospodarowanie obszaru studialnego MNK wraz z otoczeniem

Koncepcja zagospodarowania wód deszczowych

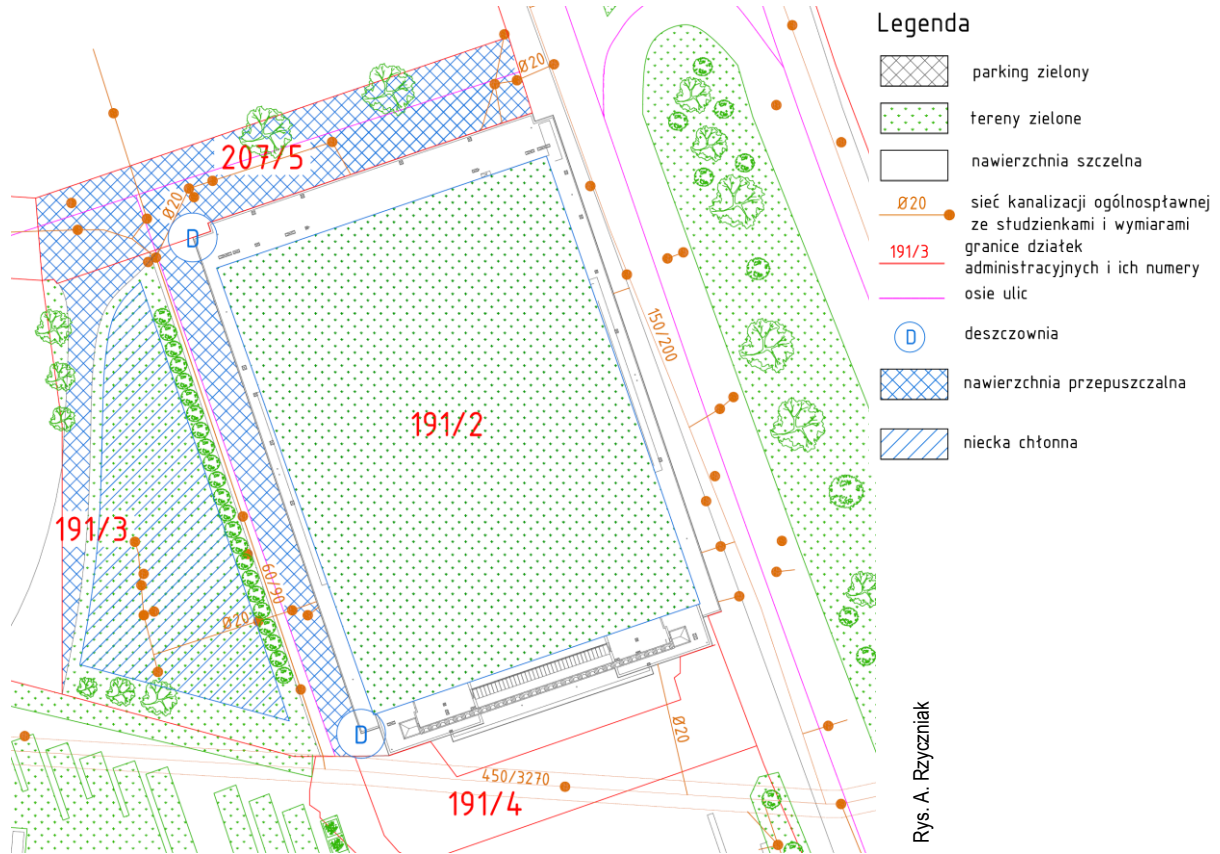
Realizacja założeń zwycięskiego projektu, opisanego powyżej, zapewniłaby znaczną poprawę i zrównoważenie sposobu zagospodarowania wód opadowych powstających na obszarze studialnym. Sam dach zielony, którego wprowadzenie na znaczącą część gmachu budynku MNK jest przewidziane w projekcie, stanowi rozwiązanie bardzo korzystne z punktu widzenia gospodarki wodami opadowymi. Jak wykazały symulacje w programie SWMM, dla deszczu o czasie trwania 30 minut i sumie opadu wynoszącej 30 mm (co odpowiada w przybliżeniu 10-letniemu deszczowi miarodajnemu), skutkuje to zmniejszeniem ilości wód deszczowych odpływających do kanalizacji z całego terenu studialnego o ponad 20% (rozpatrując odpływ z samego dachu daje to zysk w wysokości niemal 50%). Realizacja wszystkich rozwiązań zaproponowanych w zwycięskim projekcie konkursowym (rysunek poniżej), zapewniłaby dalsze korzyści i spadek ilości wód deszczowych odpływających z terenu studialnego o ponad 40% w stosunku do sytuacji obecnej.



Zagospodarowanie obszaru studialnego MNK zgodnie ze zwyciężkim projektem konkursu na opracowanie koncepcji architektonicznej przebudowy MNK

Jak opisano powyżej, zaproponowana w zwyciężkim projekcie konkursowym wizja jest innowacyjna i zgodna z zasadami ekohydrologii, jednak możliwe jest jej dalsze udoskonalenie i rozwinięcie w celu osiągnięcia zrównoważonej gospodarki wodami deszczowymi na obszarze studialnym. Można to osiągnąć przede wszystkim przez zastosowanie nawierzchni przepuszczalnych w przypadku infrastruktury komunikacyjnej. Zwłaszcza w przypadku ciągów pieszych i rowerowych zastosowanie przepuszczalnych nawierzchni jest bardzo dobrym rozwiązaniem, pozwalającym na zminimalizowanie spływu powierzchniowego i zagospodarowanie niemal całości wody opadowej na drodze infiltracji do gruntu. Sprawdzi się ono również w przypadku parkingu czy drogi dojazdowej, czyli obiektów o niewielkim natężeniu ruchu. Poza tym warto wprowadzić, na tak reprezentacyjnym i często odwiedzanym obszarze, rozwiązania zielonej infrastruktury, które świetnie podkreślą wizję konkursową (łączy tradycję z zielonymi rozwiązaniami). Wprowadzenie niecki chłonnej o łącznej powierzchni 1 400 m² na obszar trawiasty znajdujący się po zachodniej ścianie gmachu Muzeum, do której kierowane byłoby wody z pobliskich zlewni, umożliwi stworzenie ciekawej przestrzeni. 2 zbiorniki o wysokości 1,5 m gromadzące wodę z nieprzepuszczalnej części dachu MNK do ponownego wykorzystania dopełnią kompleksowy system zdecentralizowanej gospodarki wodą deszczową. Graficzna prezentacja sytuacji po wprowadzeniu tych rozwiązań została zaprezentowana na rysunku poniżej. Rezultatem byłoby zmniejszenie spływu wód deszczowych do kanalizacji o około 90% w stosunku do stanu obecnego. Warto podkreślić, że takie kompleksowe rozwiązania zapewniają zbliżenie się do zrównoważonej gospodarki wodami opadowymi, gdyż odpływ wód deszczowych z terenu studialnego stanowiłby jedynie 8% ilości wód spadających na powierzchnię w formie deszczu.

Należy podkreślić, że obliczenia prowadzono dla deszczu miarodajnego, który jest stosunkowo wysoki, można zakładać, że w sytuacjach opadów średnich ilość wód opływających do kanalizacji z analizowanego obszaru będzie bliska zeru.



Koncepcja zrównoważonej gospodarki wodami opadowymi na obszarze studialnym MNK

SPIS I ŹRÓDŁA ILUSTRACJI

- Str. 3: Mapa sieci hydrograficznej Krakowa wraz ze zbiornikami wodnymi. Zespół opracowujący *Kierunki Rozwoju i Zarządzania Terenami Zieleni w Krakowie na lata 2019–2030*.
- Str. 5: Mapa Parków Rzecznych Krakowa. Zespół opracowujący *Kierunki Rozwoju i Zarządzania Terenami Zieleni w Krakowie na lata 2019–2030*.
- Str. 10: Przekształcenia obiegu wody na skutek zmian urbanistycznych i różnych modeli gospodarowania wodami opadowymi. Źródło: Wagner I., Krauze K., Zalewski M., *Błękitne aspekty zielonej infrastruktury*. Przyroda w mieście. Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 4, 2013, str. 144–155.
- Str. 14: Wpływ roślinności na obieg wody. Rys. Marta Przybyłowska.
- Str. 15: Drzewa w donicach na ul. Rajskiej w Krakowie (po lewej). Fot. Zarząd Zieleni Miejskiej w Krakowie.
- Str. 15: Drzewa w kamiennych misach, tworzących kaskadę zasilaną wodą z dachów, Seattle, USA (po prawej). Fot. SvR Design Company, źródło: Wagner I., Krauze K., *Jak bezpiecznie zatrzymać wodę opadową w mieście? Narzędzia techniczne*. Woda w mieście. Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 5, 2014, str. 75–93.
- Str. 17: Dach zielony. Rys. Marta Przybyłowska, na podst. Kania A., Mioduszevska M., Płonka P. i inni, *Zasady projektowania i wykonywania zielonych dachów i żyjących ścian. Poradnik dla gmin*. Stowarzyszenie Gmin Polska Sieć „Energie Cités”, Kraków, 2013.
- Str. 18: Zielony dach intensywny na Bibliotece Uniwersytetu Warszawskiego (po lewej). Fot. Paweł Hołubiec, źródło: Kowalczyk A., *Zielone dachy szansą na zrównoważony rozwój terenów zurbanizowanych*. Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 2, 2011, str. 66–81.
- Str. 18: Przykład ekstensywnego dachu – kompleks biurowy „Opolska Business Park” w Krakowie (po prawej). Fot. APK Dachy Zielone, Kraków, dachyzielone.net.
- Str. 18: Wolnostojąca zielona ściana w centrum Katowic (po lewej). Fot. Tomasz Bergier.
- Str. 18: Zielona ściana wewnątrz galerii handlowej w Nowych Sączu (po prawej). Fot. Tomasz Bergier.
- Str. 20: Ogród deszczowy w pojemniku. Rys. Marta Przybyłowska, na podst. Ogrody deszczowe w pojemnikach. Fundacja Sendzimira, 2014.
- Str. 20: Budowa ogrodu deszczowego przy Akademickim Ośrodku Inicjatyw Artystycznych w Łodzi (po lewej) i Zespole Szkół nr 2 w Markach (po prawej). Fot. Fundacja Sendzimira.
- Str. 21: Ogród deszczowy w gruncie. Rys. Marta Przybyłowska, na podst. Ogrody deszczowe w gruncie, wyściełane folią. Fundacja Sendzimira, 2014.
- Str. 22: Budowa ogrodu deszczowego w gruncie przy siedzibie Stowarzyszenia „On Ja Ty” w Bukowcu. Fot. Fundacja Sendzimira.
- Str. 23: Ogród deszczowy infiltrujący do gruntu. Rys. Marta Przybyłowska, na podst. Ogrody deszczowe infiltrujące wodę do gruntu. Fundacja Sendzimira, 2014.
- Str. 23: Infiltrujący ogród deszczowy przy Zespole Szkół nr 2 w Markach. Fot. Fundacja Sendzimira.
- Str. 25: Oczyszczalnia hydrofitowa o zwierciadle swobodnym. Rys. Marta Przybyłowska.

- Str. 26: Oczyszczalnia hydrofitowa przyjmująca większość wód deszczowych i roztopowych z miasta Enköping w Szwecji: widok ogólny po ukończeniu budowy, przed obsadzeniem roślinnością (po lewej). Fot. Enköping.
- Str. 26: Oczyszczalnia hydrofitowa przyjmująca większość wód deszczowych i roztopowych z miasta Enköping w Szwecji: stan obecny (po prawej). Fot. Tomasz Bergier, źródło: Bergier T., *Dobre praktyki zintegrowanej gospodarki komunalnej w Szwecji*. Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 2, 2011, str. 21–37.
- Str. 27: Pasaż roślinny. Rys. Marta Przybyłowska, na podst. Geiger W., Dreiseitl H., *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych*. Poradnik. Proj-przem-EKO, 1999.
- Str. 28: Pasaż roślinny oczyszczający wody deszczowe z drogi przed ich odprowadzeniem do rzeki Plenty, Banyule, Australia. Fot. www.spiire.com.au.
- Str. 29: Zielona niecka chłonna. Rys. Marta Przybyłowska, na podst. Geiger W., Dreiseitl H., *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych*. Poradnik. Proj-przem-EKO, 1999.
- Str. 29: Zielona niecka chłonna w Scharnhauser Park w Ostfildern, Niemcy, przyjmująca wodę deszczową z terenów zabudowanych (po lewej), która w pogodę bezdeszczową pełni funkcję terenów rekreacyjnych (po prawej). Fot. Dreiseitl, źródło: www.ramboll.com/projects/germany/scharnhauser-park.
- Str. 30: Niecka filtracyjna. Rys. Marta Przybyłowska, na podst. Geiger W., Dreiseitl H., *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych*. Poradnik. Proj-przem-EKO, 1999.
- Str. 31: Płytki niecki infiltracyjnej przy parkingu szpitalnym w Norriton, USA (po lewej). Fot. www.csc.temple.edu, źródło: Wagner I., Krauze K., *Jak bezpiecznie zatrzymać wodę opadową w mieście? Narzędzia techniczne*. Woda w mieście. Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 5, 2014, str. 75–93.
- Str. 31: Buforowy pas trawiasty w połączeniu z niecką w Aiken, USA (po prawej), ibidem.
- Str. 32: Zielony rów infiltracyjny. Rys. Marta Przybyłowska, na podst. Geiger W., Dreiseitl H., *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych*. Poradnik. Proj-przem-EKO, 1999.
- Str. 32: Rów trawiasty wzdłuż torów tramwajowych, Fryburg, Niemcy (po lewej). Fot. expo2010.freiburg.de, źródło: Wagner I., Krauze K., *Jak bezpiecznie zatrzymać wodę opadową w mieście? Narzędzia techniczne*. Woda w mieście. Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 5, 2014, str. 75–93.
- Str. 33: Staw retencyjny w Appelteren, Holandia. Fot. M. Domanowska, źródło: *Metody zwiększania retencji wody deszczowej w gruncie. Niecki retencyjne, stawy retencyjne*. Fundacja Sendzimira, 2014.
- Str. 33: Krawężnik odwadniający. Rys. Marta Przybyłowska.
- Str. 34: Zejściowy krawężnik odwadniający. Rys. Marta Przybyłowska, na podst. materiałów firmy Sytec.
- Str. 34: Przykład nawierzchni przepuszczalnej – nawierzchnia mineralna Natural Grey. Rys. Marta Przybyłowska, na podst. materiałów firmy Green City Life.
- Str. 35: Przykłady gatunków roślin stosowanych w obiektach zielonej infrastruktury. Fot. Tomasz Bergier (x3).
- Str. 43: Źródło wszystkich fotografii na tej stronie: www.phillywatersheds.org.
- Str. 44: Ogród deszczowy w Melbourne (po lewej). Fot. City of Melbourne, źródło: www.melbournewater.com.au/raingardens.

- Str. 44: Budowa ogrodu deszczowego w Łodzi (po prawej). Fot. Fundacja Sendzimira.
- Str. 45: Budowa osiedla Hohlgrabenäcker. Źródło obu zdjęć: Ansel W., Diem A., *Sustainable Urbanism with Green Roofs – Natural Stormwater Management*. Materiały z międzynarodowej konferencji REAL CORP 2010 Cities for Everyone – Liveable, Healthy, Prosperous. Promising vision or unrealistic fantasy? Wiedeń 2010.
- Str. 46: Malmö, Augustenborg: oczko wodne do retencji wody deszczowej (po lewej), kanał deszczowy i przelewy odprowadzające nadmiar deszczu na teren zalewowy (po prawej). Źródło obu zdjęć: *Sustainable urban development in Malmö – Augustenborg and Western Harbour*. City of Malmö 2008.
- Str. 47: Osiedle Marina Mokotów, Warszawa. Źródło obu zdjęć: witryna internetowa firmy Kuryłowicz & Associates Architecture Studio, www.apaka.com.pl.
- Str. 49: Obszar studialny – park na Woli Duchackiej. Rys. M. Przybyłowska, na podst. Miejski System Informacji Przestrzennej, Interaktywny Plan Krakowa. Źródło: Przybyłowska M., *Koncepcja zastosowania zielonej infrastruktury do stworzenia zrównoważonej gospodarki wodami deszczowymi dla parku na Woli Duchackiej*. Praca magisterska, 2016.
- Str. 51: Zagospodarowanie obszaru studialnego, z zaznaczonymi obszarami odwadnianymi. Ibidem.
- Str. 53: Proponowana koncepcja zielonej infrastruktury do zagospodarowania wód opadowych dla parku na Woli Duchackiej. Ibidem.
- Str. 55: Obszar studialny – Muzeum Narodowe w Krakowie wraz z otoczeniem. Źródło: Rzychniak Anna, *Koncepcja zastosowania zielonej infrastruktury do stworzenia zrównoważonej gospodarki wodami deszczowymi dla otoczenia gmachu Głównego Muzeum Narodowego w Krakowie*. Praca magisterska, AGH w Krakowie, 2016.
- Str. 55: Wizualizacja widoku na gmach główny Muzeum Narodowego w Krakowie od strony południowej. Źródło: Muzeum Narodowe w Krakowie, *Konkurs na przebudowę i gmachu głównego rozstrzygnięty*, mnk.pl/aktualnosci/ogloszenie-wynikow-konkursu-na-przebudowe-gmachu-glownego, dostęp: 10.2016.
- Str. 56: Obecne zagospodarowanie obszaru studialnego MNK wraz z otoczeniem. Źródło: Rzychniak Anna, *Koncepcja zastosowania zielonej infrastruktury do stworzenia zrównoważonej gospodarki wodami deszczowymi dla otoczenia gmachu Głównego Muzeum Narodowego w Krakowie*. Praca magisterska, AGH w Krakowie, 2016.
- Str. 57: Zagospodarowanie obszaru studialnego MNK zgodne ze zwycięskim projektem konkursu na opracowanie koncepcji architektonicznej przebudowy MNK. Ibidem.
- Str. 58: Koncepcja zrównoważonej gospodarki wodami opadowymi na obszarze studialnym MNK. Ibidem.

LITERATURA

- A Handbook of Constructed Wetlands. Stormwater.* U.S. EPA, Philadelphia 2000.
- Ansel W., Diem A., *Sustainable Urbanism with Green Roofs – Natural Stormwater Management.* Materiały z międzynarodowej konferencji REAL CORP 2010 Cities for Everyone – Liveable, Healthy, Prosperous. Promising vision or unrealistic fantasy? Wiedeń 2010. www.corp.at/archive/CORP2010_120.pdf, dostęp 11.2016.
- Bergier T., *Dobre praktyki zintegrowanej gospodarki komunalnej w Szwecji.* Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 2, 2011, str. 21–37.
- Bergier T., *Mechanizmy usuwania zanieczyszczeń w oczyszczalniach hydrobotanicznych.* Inżynieria Środowiska 8 (2), 2003, str. 237–249.
- Bergier T., Czech A., Czupryński P., Łopata A., Wachniew P., Wojtał J., *Roślinne oczyszczalnie ścieków. Przewodnik dla gmin.* Natural Systems, Kraków 2004.
- Bergier T., Kronenberg J. (red.), *Przyroda w mieście.* Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 3, Fundacja Sendzimira, Kraków 2012.
- Bergier T., Kronenberg J., Wagner I. (red.), *Woda w mieście.* Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 5, Fundacja Sendzimira, Kraków 2014.
- Geiger W., Dreiseitl H., *Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Poradnik.* Proj-przem-EKO 1999.
- Januchta-Szostak A., *Woda w miejskiej przestrzeni publicznej. Modelowe formy zagospodarowania wód opadowych i powierzchniowych.* Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011.
- Kania A., Mioduszevska M., Płonka P. i inni, *Zasady projektowania i wykonywania zielonych dachów i żyjących ścian. Poradnik dla gmin.* Stowarzyszenie Gmin Polska Sieć „Energie Cités”, Kraków 2013.
- Kowalczyk A., *Zielone dachy szansą na zrównoważony rozwój terenów zurbanizowanych.* Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 2, 2011, str. 66–81.
- Królikowska J., Królikowski A., *Wody opadowe. Odprowadzanie, zagospodarowanie, podczyszczanie i wykorzystanie.* Wydawnictwo Seidel-Przywecki 2012.
- Muzeum Narodowe w Krakowie, *Konkurs na przebudowę i gmachu głównego rozstrzygnięty,* mnk.pl/aktualnosci/ogloszenie-wynikow-konkursu-na-przebudowe-gmachu-glownego, dostęp: 10.2016.
- Ogłoszenie Prezydenta Miasta Krakowa z dnia 24 listopada 2016 r. o przystąpieniu do sporządzenia miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego "DLA WYBRANYCH OBSZARÓW PRZYRODNICZYCH MIASTA KRAKOWA".
- Ogrody deszczowe infiltrujące wodę do gruntu.* Instrukcja budowy. Fundacja Sendzimira, Kraków 2014.
- Ogrody deszczowe w gruncie, wyścielane folią.* Instrukcja budowy. Fundacja Sendzimira, Kraków 2014.
- Ogrody deszczowe w pojemnikach.* Instrukcja budowy. Fundacja Sendzimira, Kraków 2014.
- Przybyłowska Marta, *Koncepcja zastosowania zielonej infrastruktury do stworzenia zrównoważonej gospodarki wodami deszczowymi dla parku na Woli Duchackiej.* Praca magisterska (promotor dr inż. Tomasz Bergier), AGH w Krakowie, obrona grudzień 2016.

- Rzycznik Anna, *Koncepcja zastosowania zielonej infrastruktury do stworzenia zrównoważonej gospodarki wodami deszczowymi dla otoczenia gmachu Głównego Muzeum Narodowego w Krakowie*. Praca magisterska (promotor dr inż. Tomasz Bergier), AGH w Krakowie, obrona grudzień 2016.
- San Diego Low Impact Development Design Manual*, Tetra Tech, San Diego, 2011.
- Sustainable urban development in Malmö – Augustenborg and Western Harbour*. City of Malmö 2008.
- Szymura M., Szymura T., Dunajski A., Bergier T., *Oczyszczalnie roślinne jako rozwiązanie problemów ścieków w obiektach zabudowy rozproszonej*, Centrum Rozwiązań Systemowych, Wrocław 2010.
- UACDC, *Low Impact Development: a design manual for urban areas*. Fay Jones School of Architecture, University Of Arkansas Press, Fayetteville, 2010.
- Wagner I., Krauze K., *Jak bezpiecznie zatrzymać wodę opadową w mieście? Narzędzia techniczne*. Woda w mieście. Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 5, 2014, str. 75–93.
- Wagner I., Krauze K., Zalewski M., *Błękitne aspekty zielonej infrastruktury*. Przyroda w mieście. Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 4, 2013, str. 144–155.
- Wałęga A., Radecki-Pawlik A., Kaczor G., *Naturalne sposoby zagospodarowania wód opadowych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2013.
- Wojciechowska E., Gajewska M., Żurkowska N., Surówka M., Obarska-Pempkowiak H., *Zrównoważone systemy gospodarowania wodą deszczową*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2015.
- Zielone dachy i żyjące ściany. Systemowe rozwiązania i przegląd inwestycji w polskich gminach*. Stowarzyszenie Gmin Polska Sieć „Energie Cités”, Kraków 2014.