

OPRACOWANIE

**aktualizacji dokumentu pn.
„Kierunki rozwoju i zarządzania terenami zieleni w
Krakowie na lata 2019 – 2030”
w zakresie dotyczącym ekohydrologii**

ETAP 1

Autor: dr inż. Tomasz Bergier, prof. AGH

Kraków, grudzień 2024

Spis treści

Podstawy formalne	3
Zakres opracowania	3
1. Analiza miejskich dokumentów i opracowań pod kątem gospodarki wodami opadowymi.....	5
1.1. Charakterystyka i ocena funkcjonowania systemu odwodnienia oraz przygotowanie wytycznych zrównoważonego planowania przestrzennego w obszarze gospodarki wodami opadowymi i roztopowymi na terenie Krakowa – Etap 1	5
1.2. Charakterystyka i ocena... – Etap 2	6
1.3. Plan Ograniczenia Skutków Powodzi oraz Odwodnienia Miasta Krakowa	7
1.4. Koncepcja retencji i wykorzystania wód opadowych w Parku Lilli Wenedy	8
1.5. Krakowska mikroretencja wód opadowych i roztopowych.....	9
1.6. Propozycje lokalizacji BZI od Wodociągów	9
1.7. Koncepcje odwodnienia poszczególnych dzielnic	9
1.8. Ekspertyza Miejskiej Wyspy Ciepła w Krakowie	10
1.9. Inwentaryzacja obszarów szczególnie wrażliwych (MWC) pod zalecenia z błękitno-zielonej infrastruktury.....	10
2. Aktualizacja mapy „Wybrane analizy i uwarunkowania hydrograficzne”	12
2.1. Zawartość mapy	12
2.2. Źródła danych geoprzestrzennych	13
3. Ramowe wytyczne realizacji zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na terenach zieleni pozostających w zarządzie ZZM Kraków.....	14
3.1. Wprowadzenie.....	14
3.2. Wyzwania gospodarki wodami opadowymi w mieście	15
3.3. Zalecenia dla bioretencji wód opadowych na terenach zieleni	16
3.3.1. Analiza hydrologiczna.....	16
3.3.2. Wykorzystanie wody przez rośliny	17
3.3.3. Rezygnacja z kanalizacji deszczowej.....	17
3.3.4. Brak odpływu (zero discharge)	18
3.3.5. Urządzenia BZI	18
3.3.6. Infiltracja	21
3.3.7. Nawierzchnie przepuszczalne	21
3.3.8. Zapewnienie odpowiedniej pojemności retencyjnej.....	22
3.3.9. Podejście systemowe, bezpieczeństwo.....	22
3.3.10. Układ i profile hydrauliczne	23
3.4. Metodyka obliczeń wód opadowych	24
3.4.1. Wyznaczanie zlewni rzeczywistej	24
3.4.2. Wyznaczanie zlewni zredukowanej.....	25
3.4.3. Obliczenia ilości wód opadowych – spływu powierzchniowego	27
3.4.4. Pojemność retencyjna	28
3.5. Proponowane zalecenia zapisów (SWZ).....	28
4. Metodyka sporządzenia mapy terenów zieleni pod zieloną retencję.....	30
4.1. Warstwy charakteryzujące możliwość realizacji zielonej retencji na terenach zieleni.....	30
4.2. Warstwy charakteryzujące wody opadowe, w szczególności spływ powierzchniowy, zagrożenie podtopieniami, powodziami błyskawicznymi, przepełnieniami infrastruktury deszczowej.....	31
LITERATURA	32

Podstawy formalne

Niniejsze opracowanie stanowi Etap 1 zlecenia na opracowanie aktualizacji dokumentu pn. „Kierunki rozwoju i zarządzania terenami zieleni w Krakowie na lata 2019 – 2030” w zakresie dotyczącym ekohydrologii, które zostało zlecone przez Gminę Miejską Kraków, na podstawie umowy z dn. 29 października 2024 r. Etap 2 opracowania zostanie wykonany w okresie od 1 stycznia 2025 r. do 30 września 2025 r.

Zakres opracowania

Zakres opracowania wynika wprost z ww. umowy i został zrealizowany w układzie rozdziałów opisanym poniżej. Rozdział 1 zawiera przegląd i analizę istniejących miejskich dokumentów i opracowań w zakresie ich znaczenia dla gospodarki wodami opadowymi oraz możliwości ochrony i tworzenia sieci błękitno-zielonej infrastruktury (BZI), a także syntetyczny opis najważniejszych ustaleń i wniosków wynikających z tych dokumentów.

Rozdział 2 zawiera syntetyczny opis zawartości zaktualizowanej mapy „Wybrane analizy i uwarunkowania hydrograficzne”, która powstała m.in. w oparciu o dokumenty i opracowania przeanalizowane w Rozdziale 1. Opisano również źródła danych dla poszczególnych warstw ww. mapy. Sama mapa „Wybrane analizy i uwarunkowania hydrograficzne” stanowi załącznik cyfrowy do niniejszego opracowania .

Rozdział 3 obejmuje ramowe wytyczne realizacji zasad zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na terenach zieleni pozostających w zarządzie Zarządu Zieleni Miejskiej w Krakowie (ZZM). Wytyczne te obejmują zasady zapewnienia odpowiedniej retencji terenowej jak najbliżej miejsca opadu, pozwalającej z jednej strony na skuteczne zatrzymanie wód opadowych, wykorzystanie ich na potrzeby roślin, minimalizację spływu powierzchniowego, ograniczenie lub wręcz wyeliminowanie ich zrzutu do kanalizacji miejskiej. Z drugiej strony gwarantującej komfort i bezpieczeństwo użytkowników terenów zieleni, a także zachowanie estetyki i charakteru tych ważnych dla miasta i mieszkańców terenów. Zasady te oraz zostały szczegółowo opisane w podrozdziałach 3.1 i 3.2. Podrozdział 3.3. zawiera praktyczne wytyczne dotyczące wprowadzanie rozwiązań BZI i innych form retencji wód pochodzących z opadu spadającego bezpośrednio na dany teren zieleni. Jego nadrzędnym celem jest dostarczenie projektantom wiedzy i metod zapewniających zrównoważoną gospodarkę wodami opadowymi na terenach zieleni miejskiej. W podrozdziale 3.4 opisano metodykę wyznaczania i obliczanie niezbędnych parametrów tego typu systemów zagospodarowania wody opadowej, w tym zlewni rzeczywistej, zlewni zredukowanej, niezbędnej pojemności retencyjnej, a także model matematyczny obliczeń ilości wód opadowych i spływu powierzchniowego. Podrozdział 3.5. zawiera syntetyczne zestawienie wytycznych opisanych w podrozdziałach 3.3 i 3.4, sformułowane w sposób umożliwiający ich bezpośrednie wykorzystanie w postępowaniach przetargowych na realizację różnorodnych inwestycji na tych terenach. Mogą być one wykorzystane wprost lub po zaadaptowaniu do przygotowania SWZ lub wszelkich zapytań ofertowych. Powinny być stosowane w przypadku planowania wszelkich działań inwestycyjnych na terenach zieleni,

zwłaszcza tych przyczyniających się do uszczelnienia ich nawierzchni, zwiększających spływ powierzchniowy i zagrożenie podtopieniami zarówno na samym terenie zieleni, jak terenach sąsiadujących.

Rozdział 4 zawiera założenia oraz ramową metodykę sporządzenia mapy priorytetowych terenów zieleni, przeznaczonych do realizacji inwestycji zapewniających retencję wód opadowych (w szczególności w oparciu o BZI), z uwzględnieniem zagrożenia powodzią miejską i podtopieniami, powodzią od rzek. Sama mapa zostanie opracowana w ramach Etapu 2 opracowania.

1. Analiza miejskich dokumentów i opracowań pod kątem gospodarki wodami opadowymi

Poniższy rozdział zawiera przegląd i analizę najważniejszych miejskich dokumentów i opracowań, które dotyczą bezpośrednio tematyki niniejszego opracowania, czyli w szczególności gospodarki wodami opadowymi, a także szeroko rozumianej błękitno-zielonej infrastruktury (BZI), a zwłaszcza możliwości ich wykorzystania dla równoważenia gospodarki wodami opadowymi i poprawy bezpieczeństwa powodziowego miasta Krakowa.

1.1. Charakterystyka i ocena funkcjonowania systemu odwodnienia oraz przygotowanie wytycznych zrównoważonego planowania przestrzennego w obszarze gospodarki wodami opadowymi i roztopowymi na terenie Krakowa – Etap 1

Opracowanie przygotowane przez firmę Retencja.pl (Retencja, 2019a) na zlecenie Gminy Miejskiej Kraków, zawiera kompleksową analizę systemu odwodnienia miasta Krakowa jako podstawy do wykonania opracowań planistycznych z uwzględnieniem zagadnień systemu odwodnienia i hydrografii. Opisywane zagadnienia są ilustrowane licznymi mapami, dostępnymi też w formie oddzielnych warstw geoprzestrzennych.

Z punktu widzenia tematyki niniejszej pracy, opracowanie zawiera szereg istotnych zagadnień, w szczególności opis i charakterystykę sieci hydrograficznej miasta Krakowa, zbiorników oraz rowów oraz mapę zbiorczą tych elementów. Na pochwałę zasługuje aktualna i akurata definicja priorytetów gospodarki wodami opadowymi (Rozdział 3.2.1 w opracowaniu Retencja, 2019a), wykraczająca znacznie poza zapewnienie bezpieczeństwa wodnego („komfortu kanalizacyjnego”), ale również uwzględniająca liczne i różnorodne wyzwania wynikające ze zmian klimatu, konieczność uwzględnienia zagrożeń związanych z niedoborami wody czy suszy. Wielokrotnie w opracowaniu podkreślana jest również rola błękitno-zielonej infrastruktury w tworzeniu nowoczesnej kompleksowej gospodarki wodami opadowymi.

Ważnym elementem opracowania jest podział miasta na 31 jednostek funkcjonalnych, dla których wykonano szereg analiz i map. Szczególnie istotne z punktu widzenia niniejszego opracowania są mapy wielkości i kierunków spływu w jednostkach funkcjonalnych, a także mapa powiązań hydrologicznych między tymi jednostkami. W ramach opracowania dokonano również modyfikacji i uszczegółowienia mapy terenów zielonych, opracowanych w ramach *Kierunków Rozwoju i Zarządzania Terenami Zieleni w Krakowie na lata 2019-2030*. (UMK, 2019), polegających m.in. na usunięciu budynków i nieprzepuszczalnych nawierzchni. Na tej podstawie opracowano mapę terenów zielonych, nazwanych w opracowaniu terenami biologicznie czynnymi, a także terenów nieprzepuszczalnych. Opracowanie obejmuje również ciekawą próbę opracowania mapy infiltracji gleb, która zawiera podział na 4 kategorie przepuszczalności (wprost powiązanych z krzywymi CN-SCS). Opracowanie zawiera również dwie mapy interwencji Straży Pożarnej, związanych z podtopieniami, powodzią i innymi zdarzeniami zależnymi od wody. Wyróżniono 4

kategorie (uzależnione od liczby interwencji/raster) w podziale na: (1) mapę dla dużej powodzi (maj i czerwiec 2010) oraz (2) mapę dla wszystkich zdarzeń w okresie od 2010 do 2019 roku (z wyłączeniem dużej powodzi w 2010 r.). W opracowaniu przygotowano też szereg map charakteryzujących różnego rodzaju zagrożenia powodziowe dla wyznaczonych jednostek funkcjonalnych, m.in. terenów najbardziej zagrożonych (pochodna mapy interwencji straży pożarnej); zagrożenia powodziowego od rzek; zagrożenia powodzią miejską – podtopieniami. Opracowanie zawiera również mapy terenów wrażliwych na osuwiska; mapę terenów wrażliwych ze względu na ochronę wartości przyrodniczych i wód podziemnych, obejmującą m.in. Parki Rieczne oraz zbiorowiska roślin na siedliskach wilgotnych i zmiennowilgotnych. Jest tam też mapa obszarów (w formie poligonów) gdzie zalecane jest przekierowanie wód opadowych na tereny zielone. Znakomita większość map opisanych powyżej oraz generalnie zawartych w opracowaniu (Retencja, 2019) ma charakter rastrowy (rozmiar pojedynczego rastra wynosi 250 m).

1.2. Charakterystyka i ocena funkcjonowania systemu odwodnienia oraz przygotowanie wytycznych zrównoważonego planowania przestrzennego w obszarze gospodarki wodami opadowymi i roztopowymi na terenie Krakowa – Etap 2

Opracowanie przygotowane przez firmę Retencja.pl (Retencja, 2019b) na zlecenie Gminy Miejskiej Kraków, stanowiące etap 2 opracowania (Retencja, 2019a), opisanego powyżej, w Podrozdziale 1.1. Opracowanie zawiera w szczególności prognozę zagrożeń dla różnych scenariuszy rozwoju miasta w perspektywie roku 2050, a także szczegółowe zalecenia dla poszczególnych jednostek funkcjonalnych (por. podrozdział 1.1), zgodnie ze współczesną wiedzą dotyczącą infrastruktury odwodnienia i retencji w miastach. Obejmuje również rekomendacje i wnioski kluczowe dla planowania przestrzennego w skali miasta, z uszczegółowieniem dla obszarów wrażliwych, zmierzające do poprawy adaptacji miasta do zmian klimatu. Opracowanie zawiera mapy współczynników spływu dla istniejącego stanu zagospodarowania miasta oraz stanów prognozowanych. Poza szczegółowymi rekomendacjami dla 31 jednostek funkcjonalnych, w opracowaniu zawarto też zalecenia dla obszarów strategicznych (Nowe Miasto, Nowa Huta Przyszłości, SRG Airport Balice). Opracowanie zawiera również mapę terenów narażonych na podtopienia wynikające ze zbyt małej przepustowości systemu odwodnienia miasta.

W opracowaniu wskazano również na konieczność skutecznej ochrony siedlisk wilgotnych i zmiennowilgotnych, parków rzecznych i innych obszarów błękitno-zielonej infrastruktury, nie tylko ze względu na ich wartości przyrodnicze, ale również pod kątem ich ogromnej roli w tworzeniu zrównoważonego i odpornego systemu zagospodarowania wód opadowych, zapewniającego ochronę przed podtopieniami i powodzią oraz przeciwdziałanie skutkom suszy na terenach zurbanizowanych. Szczególną uwagę poświęcono ochronie rzek i cieków, wraz z ich otoczeniem (podrozdział 6.1.3), zalecając m.in. zachowanie ciągłości biologicznej ekosystemów rzek miejskich, bezwzględny zakaz ich zabudowy i zawężania korytarzy rzecznych, a także zakaz grodzenia terenów przy ciekach.

Z punktu widzenia niniejszego opracowania, szczególnie istotne i cenne są wskazówki dotyczące ograniczania uszczelniania powierzchni (Podrozdział 6.1.4). W szczególności te dotyczące konieczności zachowania neutralności hydrologicznej wszelkich realizowanych inwestycji (por. Rozdział 3 niniejszego opracowania), rozwoju mikroretencji i stymulowania infiltracji, tworzenia spójnych obszarów przeznaczonych na teren zieleni z funkcją retencyjną, wykorzystania wód opadowych do podlewania zieleni.

Opracowanie (Retencja, 2019 b) zawiera również arkusz z danymi źródłowymi wszystkich map, również tych zawartych w opracowaniu (Retencja, 2019a) – por. podrozdział 1.1.

1.3. Plan Ograniczenia Skutków Powodzi oraz Odwodnienia Miasta Krakowa

Plan Ograniczenia Skutków Powodzi oraz Odwodnienia Miasta Krakowa (UMK, 2023a) został przyjęty Uchwałą nr CXXIV/3390/23 Rady Miasta Krakowa z dnia 6 grudnia 2023 r., jego horyzont czasowy obejmuje lata 2023–2035. W planie zdefiniowana wyzwania wynikające z gospodarowania wodami opadowymi, w szczególności:

1. konieczność adaptacji do zmian klimatu (większej częstotliwości i intensywności występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych);
2. występowanie lokalnych podtopień spowodowanych zbyt małą przepustowością, zamuleniem lub złym stanem technicznym rowów i kanałów;
3. brak możliwości odpływu wód opadowych podczas wezbrań na Wiśle, powodujących zamknięcie śluz wałowych;
4. niedostatecznie rozwinięta retencja lub sieć kanalizacji opadowej w obszarach peryferyjnych;
5. konieczność zabezpieczenia obszaru ochrony Osiedla Uzdrowisko Swoszowice przed infiltracją zanieczyszczonych wód opadowych, przy jednoczesnym zapewnieniu uzupełniania złóż wód podziemnych wodą czystą;
6. konieczność przeciwdziałania aktywizacji osuwisk;
7. zmiany w zagospodarowaniu terenu i szybko powiększająca się powierzchnia terenów uszczelnionych;
8. konieczność przeciwdziałania skutkom suszy.

Plan opisuje również podział obowiązków i zadań w ww. zakresie, w szczególności pomiędzy jednostkami miejskimi, a także konieczność współpracy pomiędzy jednostkami na różnych poziomach administracji (w szczególności z PG Wody Polskie). Plan zawiera również szczegółowe zestawienie niezbędnych działań wraz z nakładami finansowymi oraz jednostką odpowiedzialną ze realizację danego zadania, a także jego horyzontem czasowym. Z punktu widzenia tematyki niniejszego opracowania, szczególnie istotne są następujące zadania (w nawiasie podano jednostką odpowiedzialną):

1. Opracowanie wytycznych dla zagospodarowania wód opadowych i roztopowych dla zielono-niebieskiej infrastruktury (KEGW – Klimat-Energia-Gospodarka Wodna).

2. Uwzględnienie lokalnej retencji przeciwdziałającej zwiększanemu odpływowi wód opadowych wskutek uszczelniania terenu w decyzjach o ustalenie lokalizacji inwestycji celu publicznego oraz decyzjach o warunkach zabudowy (AU – Wydz. Architektury i Urbanistyki UMK).
3. Uwzględnienie lokalnej retencji przeciwdziałającej zwiększanemu odpływowi wód opadowych wskutek uszczelniania terenu w inwestycjach gminnych (AU).
4. Realizacja infrastruktury błękitnej oraz błękitno-zielonej jako samodzielnych obiektów, a także w formie małej i mikroretencji oraz opóźniania odpływu (KEGW).
5. Retencja w parkach Maćka i Doroty, Karmelicka, Kurdwanów (ZZM)

1.4. Koncepcja retencji i wykorzystania wód opadowych w Parku Lilli Wenedy

Koncepcja retencji i wykorzystania wód opadowych w Parku Lilli Wenedy (Retencja, 2020) jest ciekawą i wartą realizacji koncepcją stworzenia nowoczesnego systemu zagospodarowania wód opadowych na tym terenie. Celem tego systemu byłoby zagospodarowanie nie tylko wód opadowych z terenu samego Parku, ale również przyjęcie wód opadowych z okolicznych terenów zurbanizowanych. Wody opadowe byłyby retencjonowane na terenie Parku, w nowoczesnym układzie funkcjonującym w oparciu o retencję krajobrazową i zbiornikową, wykorzystanie błękitno-zielonej infrastruktury, łącząc poprawę bezpieczeństwa powodziowego (odciążenie miejskiej kanalizacji deszczowej) z poprawą stanu zieleni w Parku (lepszą dostępność wody). Koncepcja obejmuje odtworzenie układu hydrograficznego Parku Lilli Wenedy w możliwie naturalny sposób z rewitalizacją rowów i połączeń między nimi. Głównym elementem koncepcji jest rewitalizacja stawów i zwiększenie ich zdolności retencyjnej, zagospodarowanie obszaru parku m.in. pod kątem zagospodarowania wody opadowej, wraz z podczyszczaniem wody pochodzącej z terenu zlewni zurbanizowanej oraz zastosowanie w parku rozwiązań błękitno-zielonej infrastruktury.

Założenia Koncepcji są zbieżne z założeniami i wytycznymi wyrażonymi w niniejszym opracowaniu (szczególnie w Rozdziale 3). Koncepcja ta stanowi dobry przykład możliwości wykorzystania istniejących elementów zieleni miejskiej dla tworzenia miejskiego systemu zrównoważonej gospodarki wodami opadowymi. Pokazuje również jak dzięki zastosowaniu rozwiązań błękitno-zielonej infrastruktury oraz urządzeń technicznych można osiągnąć efekt synergiczny, korzyści ekologiczne oraz społeczne. Poziom szczegółowości i wartość merytoryczna Koncepcji umożliwia jej wykorzystanie do pozyskania środków zewnętrznych na sfinansowanie tej inwestycji, a tym samym na stworzenie w Krakowie projektu modelowego obszaru zieleni miejskiej o charakterze bioretencyjnym (doskonale wpasowującego się w światowy trend tworzenia tzw. parków deszczowych).

1.5. Krakowska mikroretencja wód opadowych i roztopowych

Kraków od wielu lat rozwija program mikroretencji wód opadowych i roztopowych, w ramach którego oferuje dotacje celowe na dofinansowanie tworzenia systemów gromadzenia i wykorzystywania wód opadowych i roztopowych. Uchwała nr CVIII/2934/23 Rady Miasta Krakowa z dnia 5 kwietnia 2023 r. w sprawie zasad udzielania i rozliczania dotacji celowej na zadania służące ochronie zasobów wodnych w ramach krakowskiej mikroretencji wód opadowych i roztopowych (UMK, 2023b) opisuje szczegółowe zasady udzielania tego typu dotacji. Szczególnie korzystny, zwłaszcza z punktu widzenia tematyki niniejszego opracowania, jest fakt, że Program ewoluuje w dobrym kierunku – w początkowym okresie dofinansowanie obejmowało głównie zbiorniki na deszczówkę, obecnie zwiększono zakres finansowanych rozwiązań o bioretencję oraz dedykowane rozwiązania BZI (zielone dachy, ogrody deszczowe, muldy chłonne, obiekty hydrofitowe, oczka wodne), a także systemy nawadniania terenów zielonych, terenów zadrzewionych, ogrodów.

Program jest z jednej strony ważnym narzędziem zwiększania retencji krajobrazowej na terenie miasta Krakowa, z drugiej – stanowi skuteczny element edukacji mieszkańców i innych interesariuszy, którzy starając się o uzyskanie dofinansowania, lepiej rozumieją współczesne wyzwania gospodarowania wodami opadowymi, a także dostępne rozwiązania. Należy mieć nadzieję, że Program będzie kontynuowany i nadal będzie ewoluował w kierunku tworzenia nowoczesnych systemów, włączając coraz szerszy wachlarz rozwiązań opartych na błękitno-zielonej infrastrukturze.

1.6. Propozycje lokalizacji BZI (WMK)

Wodociągi Miasta Krakowa (WMK) opracowały mapę cyfrową identyfikującą obszary zieleni miejskiej o wysokim potencjale do realizacji lub wzmocnienia funkcji bioretencyjnej. Są to przede wszystkim tereny zieleni zlokalizowane bezpośrednio w obszarach narażonych lub w bliskim ich sąsiedztwie.

1.7. Koncepcje odwodnienia poszczególnych dzielnic (KEGW)

KEGW (Klimat-Energia-Gospodarka Wodna) przygotował szczegółowe wariantowe koncepcje odwodnienia, obejmujące następujące obszary miasta:

1. teren osiedli Kostrze, Tyniec, Sidzina, Skotniki, Opatkowice, Bodzów, Pychowice, Zbydniowice, Wróblowice;
2. teren osiedli Przylasek Rusiecki, Kościelniki, Wrócenice, Węgrzynowice, Wadów;
3. teren osiedli Rybitwy, Przewóz;
4. teren osiedli Olszanica, Wola Justowska, Mydlniki, Bronowice, Tonie, Prądnik Biały;
5. teren osiedli Grębałów, Lubocza, Łuczanowice, Kantorowice.

Koncepcje te zawierają szczegółowe zestawienie działań inwestycyjnych z zakresu gospodarki wodami opadowymi we wszystkich ww. obszarach, wraz z odpowiednimi

planami sytuacyjnymi. Szczególnie istotne z punktu widzenia niniejszego opracowania są zadania inwestycyjne obejmujące tworzenie powierzchniowych zbiorników retencyjnych, część z nich w formie zbiorników bioretencyjnych (tzw. oczek wodnych).

1.8. Ekspertyza Miejskiej Wyspy Ciepła w Krakowie

Opracowanie „Ekspertyza Miejskiej Wyspy Ciepła w Krakowie” (UMK, 2023c) poza szczegółową dyskusją mechanizmów powstawania MWC i kluczowych czynników ją determinujących, zawiera opis zjawiska MWC na terenie miasta Krakowa. W tym celu wyznaczono 12 stref lokalnego klimatu, zależnych od szeregu czynników (m.in. udział terenów zabudowanych, nieprzepuszczalnych i przepuszczalnych dla wody, wysokości elementów szorstkości aerodynamicznej, klasy szorstkości aerodynamicznej terenu) oraz zmapowano je na terenie miasta Krakowa. Następnie, na podstawie szeregu pomiarów temperatury z punktów kontrolno-pomiarowych zlokalizowanych w ww. strefach, szczegółowo przedyskutowano zjawiska związane z powstawaniem MWC, ich cykle dobowe i sezonowe, a także zmienność przestrzenną. Ekspertyza zawiera również szereg map pokazujących intensywność powstawania MWC dla określonych pór dnia, w wybranych porach roku, dla całego obszaru miasta Krakowa. W Ekspertyzie omówiono również kwestię powstawania zjawiska tzw. nocy tropikalnych w Krakowie.

Z punktu widzenia niniejszego opracowania, szczególnie istotna jest dyskusja roli zieleni miejskiej w kontekście MWC, przedstawiona w sekcji *Podsumowanie i wnioski* (Rozdział 3 Ekspertyzy). Najważniejsze z nich to fakt, że średnie obniżenie temperatury powietrza spowodowane przez obecność terenu zielonego szacuje się na niecały 1°C w dzień oraz na 1,15°C nocą; większe parki częściej charakteryzują się niższą temperaturą powietrza od otoczenia lub też efekt ochładzający wewnątrz nich jest większy; istotna rola drzew w parku oraz fakt, że wraz ze wzrostem wielkości parku, zwiększa się odległość, na którą park ten może oddziaływać (przy parkach o powierzchni 12 i 36 ha potencjalny zasięg występuje do 500 m, w przypadku parku większego niż 150 ha jest w stanie sięgnąć nawet 1 km). Wskazano również, że niemal każdy rodzaj zieleni miejskiej i błękitno-zielonej infrastruktury przyczynia się do obniżenia temperatury powietrza w dzień.

1.9. Inwentaryzacja obszarów szczególnie wrażliwych (MWC) pod zalecenia z błękitno-zielonej infrastruktury

Opracowanie „Inwentaryzacja obszarów szczególnie wrażliwych (MWC) pod zalecenia z błękitno-zielonej infrastruktury” (UMK, 2023d) stanowi kontynuację opracowania (UMK, 2023c) opisanego w Podrozdziale 3.10, a jego głównym celem jest wykonanie analizy przestrzennej pod zalecenia z zakresu BZI, pod kątem zapobiegania powstawania MWC. W Inwentaryzacji zawarto szereg map, pokazujących kluczowe parametry, m.in. mapy występowania MWC (dla różnych pór roku i pór dnia), wskaźnika wegetacji, wysokości zieleni, pokrycia roślinnością. Produktem wynikowym jest rastrowa mapa terenów

narażonych na wysokie temperatury, które zostały podzielone na cztery kategorie. Mapa ta ma być podstawą dla inwestycji w błękitno-zieloną infrastrukturę, zwłaszcza w obszarach o największym ryzyku wystąpienia MWC.

2. Aktualizacja mapy „Wybrane analizy i uwarunkowania hydrograficzne”

Na podstawie analizy istniejących miejskich dokumentów i opracowań dotyczących gospodarki wodami opadowymi oraz możliwości ochrony i tworzenia BZI (por. Rozdział 1), dokonano aktualizacji zawartości mapy „Wybrane analizy i uwarunkowania hydrograficzne”. Poniżej w podrozdziale 2.1 syntetycznie opisano zawartość tej mapy w podziale na warstwy tematyczne, a w podrozdziale 2.2 – źródła danych wykorzystane do sporządzenia tych warstw geoprzestrzennych. Podkreślić należy, że punktem wyjścia do opracowania zaktualizowanej mapy była mapa źródłowa (o takim samym tytule) z opracowania Kierunki Zarządzania Zielenią Kierunki Rozwoju i Zarządzania Terenami Zieleni w Krakowie na lata 2019-2030 (UM Krakowa, 2019). Zakres przestrzenny mapy stanowią granice administracyjne miasta Krakowa. Zaktualizowana mapa „Wybrane analizy i uwarunkowania hydrograficzne” stanowi cyfrowy załącznik do niniejszego opracowania.

2.1. Zawartość mapy

1. Główna sieć hydrograficzna, kategorie:
 - a. rzeka;
 - b. strumień, potok lub struga;
 - c. rowy melioracyjne.
2. Zbiorniki wodne, w tym:
 - a. zbiorniki retencyjne istniejące;
 - b. zbiorniki retencyjne planowane.
3. Zasięg zagrożenia powodziowego:
 - a. woda 500-letnia (0,2%);
 - b. woda 100-letnia (1%);
 - c. woda 10-letnia (10%);
 - d. zagrożenie powodzią przy zniszczeniu wałów.
4. Strefy mokradłowe – łąki wilgotne i zmiennowilgotne.
5. Infrastruktura powodziowa:
 - a. wały;
 - b. stopnie wodne.
6. Mapa interwencji straży pożarnej, związanych z podtopieniami i koniecznością odpompowania wody.

2.2. Źródła danych geoprzestrzennych

1. Główna sieć hydrograficzna – główne źródło: BDOT oraz Hydroportal¹, do weryfikacji przebiegu rowów melioracyjnych zostało dodatkowo wykorzystane opracowanie (Retencja, 2019a), szczegółowo opisane w podrozdziale 1.1.
2. Zbiorniki wodne – główne źródło: BDOT oraz Hydroportal¹. W przypadku zbiorników retencyjnych, szczególnie planowanych, wykorzystano opracowanie (KEGW, 2024), opisane w podrozdziale 1.7.
3. Zasięg zagrożenia powodziowego – główne źródło: Hydroportal¹ (Mapy zagrożenia powodziowego).
4. Strefy mokradłowe – główne źródło: Mapa roślinności rzeczywistej Krakowa. Zgodnie z opracowaniem (Retencja, 2019a) zaliczono do tej warstwy trzy kategorie z ww. mapy: (1) łąki wilgotne i zmiennowilgotne z dominacją trzciny, (2) łąki wilgotne i zmiennowilgotne z dominacją śmiałka darniowego, (3) trzęślicowe łąki zmiennowilgotne.
5. Wały powodziowe oraz stopnie wodne – główne źródło: Hydrogeoportal (SIGW), weryfikacja na podstawie opracowania (Retencja, 2019a).
6. Mapa interwencji straży pożarnej – wykorzystano następujące mapy z opracowania (Retencja, 2019a): (1) Mapa interwencji Straży Pożarnej – dla dużej powodzi (maj i czerwiec 2010); (2) Mapy interwencji Straży Pożarnej – zagrożenie podtopieniami, bez dużej powodzi (okres 2010–2019). Mapy te zostaną uzupełnione w Etapie 2 analogiczną mapą, która zostanie stworzona na podstawie danych od 2019 r. do chwili obecnej (odpowiednie dane ze Straży Pożarnej są w trakcie pozyskiwania).

¹ Hydroportal, PG Wody Polskie, <https://isok.gov.pl/hydroportal.html> (stan na 28.11.2024)

3. Ramowe wytyczne realizacji zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na terenach zieleni pozostających w zarządzie ZZM Kraków

3.1. Wprowadzenie

Tereny zieleni w Krakowie stanowią istotny element zarządzania miastem, poza zwiększaniem bioróżnorodności oraz poprawą odporność miasta na zmiany klimatu, dostarczają wielu kulturowych usług ekosystemów, stanowiąc ważne miejsce wypoczynku, relaksu i aktywności fizycznej dla Krakowian. To rosnące zainteresowanie terenami zieleni, przekłada się na szereg działań zmierzających do udostępniania tych terenom mieszkańcom i innym użytkownikom, w szczególności inwestycji w infrastrukturę czasu wolnego i ćwiczeń fizycznych, czy komunikacyjną (szczególnie drogi rowerowe i ciągi piesze). Inwestycje tego typu nierzadko wiążą się z wprowadzaniem nawierzchni nieprzepuszczalnych, generalnie uszczelnianiem fragmentów obszarów zielonych. Pomimo tego, że parki i inne formy miejskiej zieleni charakteryzują się dużą retencją i mają pozytywny wpływ na poprawę lokalnego obiegu wody, pojawiają się tam lokalne problemy z podtopieniami i stagnacją wody, generalnie różnego rodzaju konsekwencje uszczelnienia nawierzchni i zwiększenia spływu powierzchniowego wód opadowych.

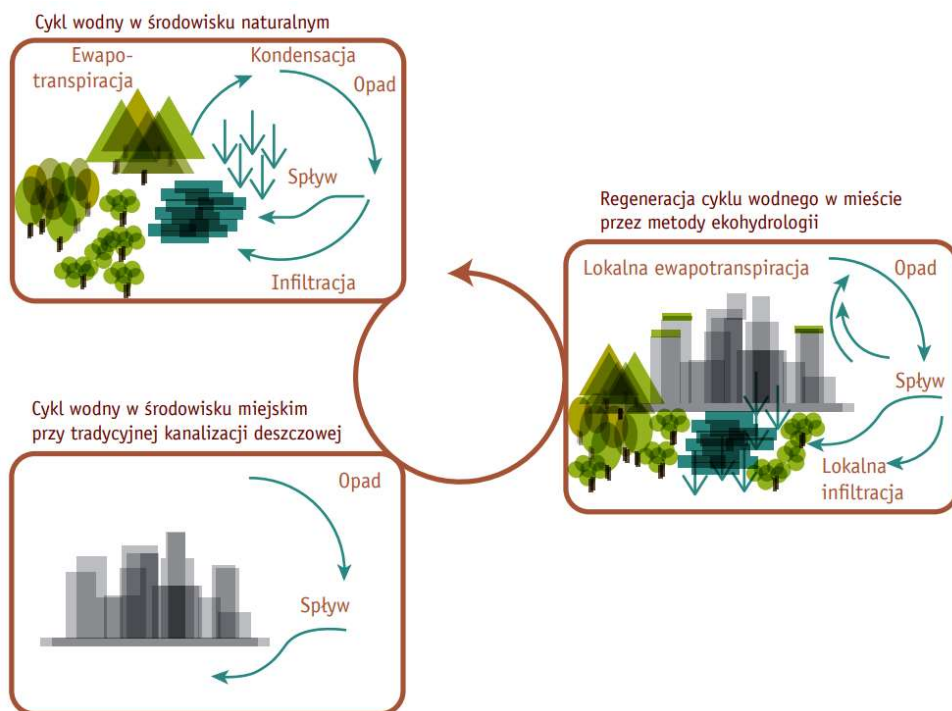
Celem niniejszego rozdziału jest sformułowanie wytycznych, gwarantujących zmniejszenie lub całkowite wyeliminowanie opisanych powyżej negatywnych zjawisk i skutków działań inwestycyjnych. Wytyczne te skierowane są przede wszystkim do projektantów wszelkiego rodzaju inwestycji na terenach zieleni (m.in. wymienionych powyżej), a także w sytuacjach kiedy projektuje się infrastrukturę służącą zagospodarowaniu wód opadowych, która ma zmniejszać negatywne konsekwencje przedyskutowane powyżej. Zasadnicze wytyczne są zawarte w podrozdziale 3.3, natomiast w podrozdziale 3.2 opisano najważniejsze wyzwania gospodarowania wodami opadowymi w mieście, które stanowią ramy i podstawy dla sformułowania tychże wytycznych, pozwalają też lepiej zrozumieć szerszy kontekst tych zaleceń i ich rolę w działaniach na rzecz poprawy funkcjonowania gospodarki wodami opadowymi miasta Krakowa oraz jego skuteczniejszej adaptacji do zmian klimatu. W podrozdziale 3.4 zawarto uproszczoną metodykę obliczeń wód opadowych i pojemności retencyjnej wprowadzanych rozwiązań, co stanowi materiał wspierający szczegółowe wytyczne, w szczególności pozwalający obiektywnie ocenić skuteczność ich zastosowania w kontekście danej inwestycji. Podrozdział 3.5, zamykający niniejszy rozdział, zawiera zapisy stanowiące syntetyczny zapis wytycznych (omówionych szczegółowo w podrozdziale 3.3). Zapisy te zostały sporządzone z myślą o ich bezpośrednim wykorzystaniu w trakcie opracowywania specyfikacji przetargowej w postępowaniach wyłaniających projektantów wszelkiego rodzaju inwestycji na terenach zieleni. Wykorzystanie tych wytycznych na tak wczesnym etapie pozwoli na unikanie problemów wynikających z uszczelniania terenu i zaburzania obiegu wody na skutek realizacji planowanych inwestycji.

3.2. Wyzwania gospodarki wodami opadowymi w mieście

Powszechnie znane są skutki procesów urbanizacyjnych i stosowania konwencjonalnej kanalizacji deszczowej w celu odwodnienia miasta na lokalny obieg wody (rysunek 3.1). W naturalnych warunkach znakomita większość wody opadowej zatrzymywana jest w miejscu jej opadu, częściowo na powierzchni roślin, częściowo w ich systemie korzeniowym czy w płytkich warstwach glebowych, dzięki czemu ulega parowaniu (zwłaszcza na drodze ewapotranspiracji przez rośliny) oraz retencji glebowej, a jej nadmiar zasila wody podziemne na drodze infiltracji (por. lewa górna część rysunku 3.1). Niewielki tylko odsetek wody opadowej formuje spływ powierzchniowy (przyjmuje się, że jest to do 10%, chociaż w przypadku intensywnej wegetacji może to być znacząco mniej).

W zlewni miejskiej ten naturalny obieg jest mocno zaburzony, znakomita większość wody opadowej błyskawicznie odpływa ze zlewni w formie spływu powierzchniowego (por. lewa dolna część rysunku 3.1). Dzieje się tak na skutek znacznego uszczelnienia powierzchni (dachy, nawierzchnie drogowe, parkingi, itp.), skutecznego odwodnienia zlewni za pomocą kanalizacji miejskiej, a także ograniczania możliwości dopływu wód opadowych do istniejących obszarów zieleni (krawężniki i inne bariery dla przepływu wody oraz urządzenia wlotowe kanalizacji). Szacuje się, że większa część opadu odpływa z krajobrazu w formie spływu powierzchniowego (przy niekorzystnych warunkach nawet 90%). Ma to wielorakie niekorzystne konsekwencje dla miasta oraz mieszkańców, w szczególności przyczyniając się do zwiększenia zagrożenia podtopieniami i powodzią błyskawicznymi, wrażliwości na niedobory wody i susze, skutków fal gorąca i miejskiej wyspy ciepła.

Z powyżej opisanych powodów podejmuje się wiele działań mitygacyjnych, mających na celu przywrócenie naturalnego obiegu wody (por. prawa część rysunku 3.1), w szczególności zmierzających do zmniejszenia ilości wody opadowej traconej w formie spływu powierzchniowego, a zwiększenia retencji krajobrazowej, lokalnej infiltracji, szczególnie do płytkich warstw podskórnych, a przede wszystkim zasilania wodą opadową roślin na terenach zielonych, co zapewnia szereg usług ekosystemów, kluczowych dla odporności miasta i jakości życia mieszkańców. Tak więc tereny zieleni i szeroko rozumiana błękitno-zielona infrastruktura (BZI) ma kluczowe znaczenie w tym zakresie. Jednak – tak jak to opisano w podrozdziale 3.1 – również lokalnie na terenach zieleni pojawiają się analogiczne wyzwania związane z zaburzeniem naturalnego obiegu wody, dlatego konieczne jest wprowadzanie działań zmierzających do poprawy retencji krajobrazowej. W związku z tym, poniżej (w podrozdziale 3.3) sformułowano stosowne zalecenia dla projektantów różnego rodzaju inwestycji i generalnie interwencji planowanych na terenach zieleni miejskiej.



Rysunek 3.1. Przekształcenia małego obiegu wody na skutek procesów urbanizacyjnych oraz możliwości kompensacji tych zmian z wykorzystaniem błękitno-zielonej infrastruktury i innych rozwiązań ekohydrologicznych (Wagner, 2013)

3.3. Zalecenia dla bioretencji wód opadowych na terenach zieleni

3.3.1. Analiza hydrologiczna

Wszelkie działania projektowe i inwestycyjne na terenie zieleni należy poprzedzić analizą hydrologiczną przedmiotowego terenu, w szczególności rozpoznać i zmapować kierunki oraz drogi spływu powierzchniowego, lokalne miejsca kumulacji wody. Projektant, planując lokalizację poszczególnych elementów inwestycji musi bezwzględnie wziąć pod uwagę wnioski z takiej analizy, w szczególności lokalizować nowe urządzenia tak aby z jednej strony minimalizować ich wpływ na naturalne stosunki wodne, a z drugiej unikać wykonania ich w miejscach potencjalnie problematycznych. Np. w przypadku projektowania placów zabaw, siłowni i innych tego urządzeń należy rezygnować z lokalizowania ich w naturalnych obniżeniach terenu, gdzie następuje kumulacja wód opadowych i pojawia się ryzyko okresowej stagnacji wody. Należy również unikać przecinania dróg naturalnego spływu powierzchniowego tego typu inwestycjami, co także może skutkować okresowymi podtopieniami projektowanych urządzeń, czy wręcz wykreowaniem nowych miejsc lokalnej depresji – stagnacji wody. W niektórych przypadkach, aby uniknąć tego typu zagrożeń wystarczy zastosowanie prostych rozwiązań, np. zapewnienie alternatywnych sposobów zapewnienia spływu wód (np. w formie mikroniwelacji, muld czy suchych potoków, w ostateczności krótkich odcinków rur). Podobnie w przypadku inwestycji liniowych (szczególnie drogi, ścieżki, itp.) należy je projektować w sposób minimalizujący ich wpływ

na stosunki wodne, stosując bezinwazyjne możliwości przepływu wody w zidentyfikowanych miejscach spływu wody (np. przepływy liniowe w nawierzchni). W przypadku prowadzenia ścieżek czy dróg rowerowych na terenach naturalnie podmokłych, warto rozważyć ich wyniesienie, co – poza uniknięciem zagrożeń wodnych – może dodatkowo zwiększyć atrakcyjność tych ciągów.

3.3.2. Wykorzystanie wody przez rośliny

Najważniejszym i najbardziej zrównoważonym kierunkiem zagospodarowania wód opadowych, szczególnie pożądanym na terenach zieleni miejskiej, jest jej ewapotranspiracja przez rośliny. W związku z tym zaleca się, aby projektant tak planował układ zbierania i zagospodarowania wód opadowych na przedmiotowym terenie zieleni, żeby to w jak największym stopniu umożliwić. Zasadniczym kierunkiem postępowania z wodą opadową na terenach zieleni miejskiej powinno być jej retencjonowanie w krajobrazie, w szczególności w powierzchniowej warstwie gleby (jak najbliższego miejsca wystąpienia opadu atmosferycznego). Umożliwia to dostęp roślin do wody, co jest szczególnie ważne i cenne w okresach suszy (które na skutek zmiany klimatu stają się coraz dłuższe i bardziej dotkliwe). W tym celu, w naturalnych zagłębieniach lub wykorzystując mikroniwelacje, należy tworzyć urządzenia BZI (niecki, różnego rodzaju ogrody deszczowe i inne rozwiązania mające połączenie hydrauliczne z gruntem rodzimym), zapewniając odpowiednią objętość retencyjną, dzięki której woda będzie okresowo stagnować i zasiląć płytkie warstwy tzw. wód podskórnych, pośrednio również gromadzić się w glebie w otoczeniu tych urządzeń, wykorzystując pojemność polową gleby i zjawisko podciągania kapilarnego. Poza tym, należy zapewnić możliwość spływu wód opadowych z terenów uszczelnionych, poprzez brak krawężników i innych barier dla spływu lub zapewnienie ich nieciągłości (np. w formie obniżen lub przerw). W razie potrzeby należy przekierować grawitacyjnie spływ powierzchniowy z tego typu uszczelnionych obszarów, np. za pomocą liniowych układów powierzchniowych (płytkie rowy i muldy, suche potoki, itp.). W takich przypadkach, wody opadowe należy kierować przede wszystkim na tereny zielone, zwłaszcza zasilając drzewa, krzewy i inne formy roślinności. Oczywiście dobierając zlewnię, a tym samym ilość wody, adekwatnie do obszaru zasilanego i rodzaju roślinności go porastającej, zapewniając też bezpieczne odprowadzenie nadmiaru wody, w celu unikania długotrwałych podtopień strefy korzeniowej drzew (por. podrozdział 3.3.9).

3.3.3. Rezygnacja z kanalizacji deszczowej

Na przedmiotowym terenie zielonym należy zdecydowanie ograniczać stosowanie infrastruktury technicznej w zakresie gospodarowania wodami opadowymi, w szczególności kanalizacji podziemnej wraz z urządzeniami towarzyszącymi (np. studzienki), gdyż znacznie ogranicza to możliwości wykorzystania wody opadowej zgodnie z powyżej opisanymi zaleceniami oraz generalnie zasadami zrównoważonej gospodarki wodami opadowymi. W związku z tym zalecane jest aby projektant zrezygnował zupełnie ze stosowania konwencjonalnej kanalizacji deszczowej. Jeśli jednak uzna, że w wybranych obszarach czy przypadkach jest to niezbędne, zobowiązany jest do jednoznacznego wykazania tej

konieczności, w tym również udowodnienia, że nie istnieje racjonalny sposób zastąpienia jej rozwiązaniami powierzchniowymi opartymi o BZI i bioretencję.

3.3.4. Brak odpływu

Zdecydowanie należy unikać odprowadzania wody opadowej poza przedmiotowy teren zieleni, w szczególności do kanalizacji miejskiej – woda taka jest z jednej strony „tracona”, gdyż nie może być wykorzystana na opisane powyżej cele (w szczególności na potrzeby roślin); z drugiej strony stanowi niepotrzebne obciążenie kanalizacji miejskiej, a pośrednio jej odbiorników. Równie niekorzystne, a z punktu widzenia przepisów prawa wręcz nielegalne, jest odprowadzanie nadmiaru wód opadowych na tereny sąsiadujące z przedmiotowym terenem zieleni. Zalecane jest aby Projektant tak dobierał układ urządzeń i rozwiązań gospodarowania wodami opadowymi aby zupełnie zrezygnować z odprowadzania nadmiaru wody do kanalizacji miejskiej czy innego typu odbiorników zewnętrznych, ew. traktując to wyłączenie jako opcję awaryjną, dopuszczalną w sytuacjach wyjątkowych (np. przy długotrwałych lub ulewnych deszczach) lub uzasadnioną bezpieczeństwem powodziowym przyległych terenów zurbanizowanych. Podkreślić należy, że stosując wytyczne zawarte w niniejszym opracowaniu, realne jest zbudowanie systemu bezodpływowego (tzw. *zero discharge*), który całość wody opadowej ze zlewni rzeczywistej zatrzyma i zagospodaruje na przedmiotowym terenie zieleni.

3.3.5. Urządzenia BZI

W niniejszych wytycznych wielokrotnie zaleca się stosowanie urządzeń BZI do budowy kompleksowego zagospodarowania wód opadowych na przedmiotowym terenie zieleni. Ze względu na mnogość form i nazw, nie sposób szczegółowo opisać wszystkich z nich, ani podać szczegółowych wytycznych ich doboru i projektowania. Jednak w dalszej części niniejszego podrozdziału podano podstawowe informacje na temat rozwiązań, które mają największy potencjał zastosowania na miejskich terenach zieleni urządzonej, tj. nieckii bioretencyjnej, ogrodów deszczowych w gruncie. Podane poniżej informacje są wystarczające do świadomego doboru odpowiednich rozwiązań, a także ich zaprojektowania, wymiarowania i ulokowania w przedmiotowym terenie. Jednak bardziej szczegółowe informacje, m.in. na temat projektowania wyżej opisanych i innych rozwiązań BZI, odpowiedniego ich doboru do warunków terenowych, wymiarowania ich powierzchni, konstrukcji oraz układu warstw mineralnych, a także gatunków roślin, można znaleźć w licznych poradnikach, np. tych opracowanych przez Fundację Sendzimira², w szczególności w następujących broszurach informacyjnych:

- „Infiltracyjna niecka retencyjna” (Fundacja Sendzimira, 2021a);
- „Ogrody deszczowe w gruncie” (Fundacja Sendzimira, 2021d);
- „Naturalistyczny zbiornik retencyjny” (Fundacja Sendzimira, 2021c);

² Wszystkie broszury wymienione w niniejszych wytycznych są dostępne na stronie internetowej Fundacji Sendzimira, wraz z innymi poradnikami o podobnej tematyce, a także filmami instruktażowymi: <https://sendzimir.org.pl/publikacje/broszury-instruktażowe-dot-zwiekszenia-retencji-krajobrazowej/>

- „Metody zwiększania retencji wody deszczowej do gruntu. Nawierzchnie przepuszczalne, studzienki chłonne” (Fundacja Sendzimira, 2021b).

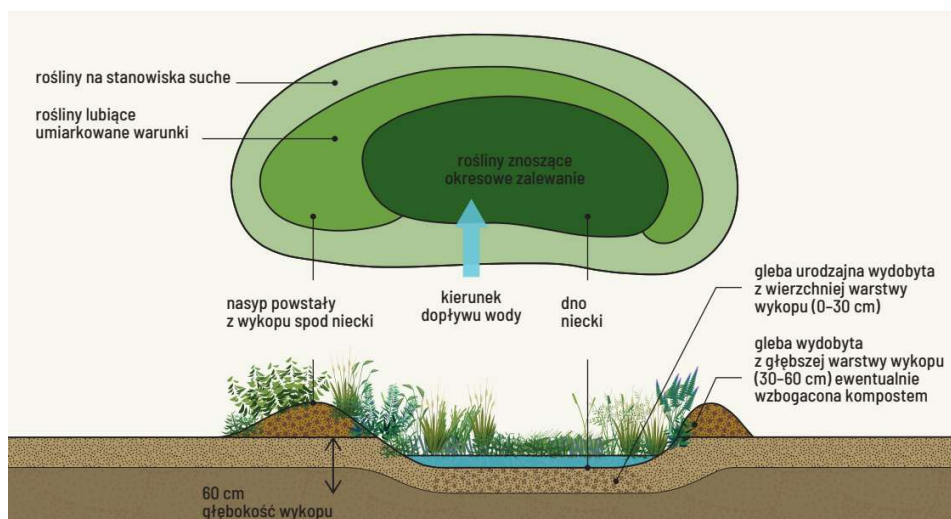
Najlepszą weryfikacją tak dobranych urządzeń jest ocena pojemność retencyjnej całego zaprojektowanego układu (por. podrozdział 3.3.8). Jeśli w wyniku takiej oceny okaże się, że konieczna jest weryfikacja projektu, należy dostosować wymiary poszczególnych urządzeń BZI, tak zwiększyć ich pojemność retencyjną do wymaganego poziomu.

Niecka bioretencyjna

Rozwiązaniem BZI, które ma największy potencjał zastosowania w przypadku terenów zieleni jest niecka bioretencyjna (rysunek 3.2). W najprostszym rozwiązaniu jest to zagłębienie w terenie o niewielkiej deniwelacji (nawet kilka, kilkanaście centymetrów), w którym spływ powierzchniowy może okresowo się gromadzić, wsiąkać, zasilać płytkie wody podskórne. Niecka może być obsadzona roślinnością analogiczną jak na terenie przyległym. W bardziej wyszukanych projektach, poszczególne strefy niecki obsadza się roślinami o różnych preferencjach (por. rysunek 3.3). W przypadku niecki bioretencyjnej, funkcjonującej na terenie zieleni, zasilanie wodą opadową odbywa się najczęściej grawitacyjnie – powierzchniowo z terenów przyległych, ewentualnie za pomocą liniowych układów (rowy lub muldy, suche potoki, itp.). Nominalnie, powierzchnia niecki bioretencyjnej powinna stanowić nie mniej niż 10% powierzchni zredukowanej zlewni, z której wody opadowe spływają do objętości niecki. Jednak również mniejsze niecki spełniają swoją rolę, zwłaszcza jeśli są jednym z kilku elementów zagospodarowania wód opadowych (por. podrozdziały 3.3.8 i 3.3.9).



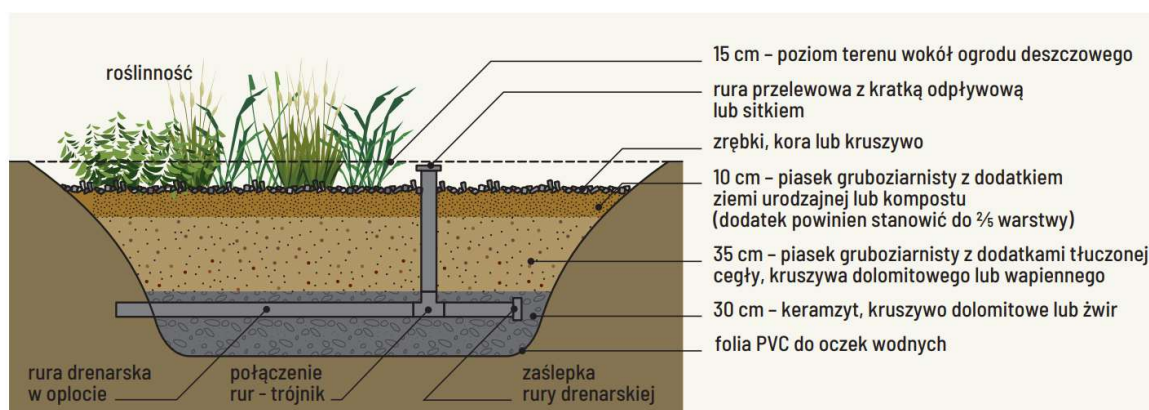
Rysunek 3.2. Widok na nieckę bioretencyjną obsadzoną trawą
(fot. Małgorzata Piszczek, źródło: Fundacja Sendzimira, 2021a)



Rysunek 3.3. Schemat budowy niecki bioretencyjnej: przekrój, widok z góry oraz strefowanie roślin (źródło: Fundacja Sendzimira, 2021a)

Ogród deszczowy

Ogrody deszczowe to cała grupa rozwiązań BZI, które mogą znacznie różnić się konstrukcją, wielkością, wyglądem oraz obszarem zastosowania. W przypadku terenów zielni, szczególnie godne polecenia są ogrody deszczowe w gruncie (rysunki 3.4 i 3.5), zwłaszcza te zintegrowane z gruntem rodzimym, z którego spływ wody opadowej kierowany jest bezpośrednio do ogrodu. Ogrody deszczowe, ze względu na swoją nieco bardziej złożoną budowę i większą objętość retencyjną (wynikającą przede wszystkim z odpowiedniego układu warstw o wysokiej wodochłonności), pozwalają na przyjmowanie większej ilości wód opadowych w porównaniu do niecek bioretencyjnych. Powierzchnia ogrodu deszczowego powinna stanowić około 3–5% powierzchni zredukowanej zlewni, z której wody opadowe spływają do niego.



Rysunek 3.4. Schemat budowy oraz przekrój przez ogród deszczowy w gruncie (źródło: Fundacja Sendzimira, 2021c)



Rysunek 3.5. Ogród deszczowy w gruncie (fot. Barbara Surmacz-Dobrowolska, źródło: strona projektu „Między suszą a powodzią – BZI w gm. Leśna, Fundacja Sendzimira: <https://zielona.lesna.pl/sciezka-edukacyjna/ogrod-deszczowy-w-gruncie/>)

3.3.6. Infiltracja

Ważnym kierunkiem zagospodarowania wód opadowych jest ich infiltracja do wód gruntowych. Jak opisano to w podrozdziale 3.3.2, infiltracja do płytkich warstw glebowych jest podstawą zasilania wodą deszczową roślinności występującej na przedmiotowym terenie zieleni. Oczywiście nadmiar wody, niewykorzystany przez rośliny, infiltruje głębiej zasilając niższe poziomy wód gruntowych. Z tego powodu, na terenach zieleni należy ograniczać stosowanie szczelnych rozwiązań BZI (które z różnych powodów stosunkowo często stosuje się w zurbanizowanych zlewniach miejskich). Z drugiej strony, w uzasadnionych przypadkach, zwłaszcza przy zastosowaniu rozwiązań BZI obsadzonych makrofitami lub w przypadku występowania gleb luźnych, o znacznej wodoprzepuszczalności, Projektant powinien przeanalizować potrzebę doszczelniania dna tych urządzeń w celu zatrzymania wody i umożliwienia lepszego jej wykorzystania przez rośliny. W tym celu szczególnie użyteczne są różnego rodzaju uszczelnienia mineralne, np. ilowe.

3.3.7. Nawierzchnie przepuszczalne

W przypadku planowania i projektowania ścieżek i ciągów pieszych, a także dróg rowerowych, zaleca się stosowanie nawierzchni przepuszczalnych wraz z odpowiednią podbudową. W Krakowie istnieją liczne, pozytywne doświadczenia w tym zakresie, szczególnie na terenach zieleni miejskiej. Świetnie sprawdzają się w tym kontekście

wszelkiego rodzaju nawierzchnie mineralne, których dodatkowym atutem jest minimalizacja wpływu na korzenie drzew i lepsza integracja wizualna z otoczeniem parkowym (również dzięki stosowaniu odpowiednich krawędzi, zamiast konwencjonalnych krawężników). W przypadku projektowania dróg dojazdowych dla pojazdów mechanicznych lub miejsc parkingowych również należy stosować nawierzchnie przepuszczalne, w tym przypadku szczególnie odpowiednie są betony komórkowe oraz nawierzchnie mineralno-żywiczone (w których spoiwem są kleje żywiczne, zamiast mieszanek asfaltowych stosowanych w konwencjonalnych masach bitumicznych), ewentualnie nawierzchnie z kostki brukowej z wypustkami dystansowymi i inne nawierzchnie ażurowe.

3.3.8. Zapewnienie odpowiedniej pojemności retencyjnej

Kluczowym zadaniem projektowanych urządzeń zagospodarowania wód opadowych jest zapewnienie odpowiedniej objętości retencyjnej, gwarantującej skuteczne zatrzymanie wody w krajobrazie. W celu wiarygodnej oceny uzyskanej pojemności retencyjnej należy porównać ją z ilością wody opadowej. Sumaryczna objętość retencyjna wszystkich urządzeń, wchodzących w skład zaprojektowanego układu nie powinna być mniejsza od sumarycznej ilości wody opadowej pochodzącej z opadu miarodajnego, o parametrach co najmniej $C=5$ lat (prawdopodobieństwo 20%) i czasie trwania 15 minut (por. podrozdział 3.4.3). Powyższą ocenę zaleca się prowadzić w podziale na zlewnie cząstkowe (por. podrozdział 3.4.1), co ułatwia ocenę uzyskanych wyników, a szczególnie racjonalne wprowadzenie ewentualnych modyfikacji.

W przypadku bardziej złożonych układów urządzeń gospodarowania wodami opadowymi, zwłaszcza tych podłączonych do kanalizacji miejskiej, należy porównać pojemność retencyjną całego układu do pojemności zbiornika retencyjnego, który byłby zgodny z miejskimi wytycznymi w tym zakresie (por. *Zalecenia do wymiarowania systemów odwodnień terenów* oraz *Zintegrowany Kalkulator Projektanta* opracowane przez Wodociągi Miasta Krakowa – WMK, 2024a i WMK, 2024b).

W powyższych obliczeniach należy też wziąć pod uwagę fakt czy planuje się realizację działań skutkujących rozszczelnieniem terenu (np. na skutek zastępowania nawierzchniami przepuszczalnymi nawierzchni konwencjonalnych) czy zmniejszeniem spływu powierzchniowego (np. na skutek skierowania wód opadowych z nawierzchni uszczelnionych na tereny zielone). W takim przypadku należy oczywiście odpowiednio zmodyfikować obliczenia, w szczególności stosownie zmniejszyć wartość powierzchni zredukowanej (por. podrozdział 3.4.2), co przekłada się na wartości pochodne, w szczególności niezbędną pojemność retencyjną.

3.3.9. Podejście systemowe, bezpieczeństwo

Projektując układ gospodarowania wodami opadowymi należy stosować podejście systemowe, planując układ powiązanych elementów, a nie pojedyncze rozwiązanie. Jest to szczególnie istotne w przypadku stosowania rozwiązań BZI, które dobrze się sprawdzają w układach kaskadowych, świetnie uzupełniając i wzmacniając swoje mocne strony,

zapewniając synergistyczny efekt zwiększenia lokalnej retencji, skutecznej ewapotranspiracji, jak również poprawy jakości wód opadowych. W tym celu należy szeregowo łączyć różnego rodzaju powierzchniowe urządzenia BZI (np. niecki bioretencyjne, ogrody deszczowe). Nadmiar wody z jednego urządzenia kierowany powinien być do kolejnego z wykorzystaniem odpowiedniego ukształtowania terenu lub za pomocą powierzchniowych rozwiązań liniowych (np. rowy lub muldy, suche potoki). Oczywiście, należy brać pod uwagę bezpieczeństwo użytkowników oraz zagrożenie podtopieniami, zwłaszcza jeśli na terenach przyległych do terenu zieleni znajdują się budynki lub infrastruktura wrażliwa na zalanie. W takim przypadku przelew awaryjny z końcowego urządzenia powinien być zagospodarowany w sposób bezpieczny (przy braku innych możliwości, skierowany do kanalizacji miejskiej).

3.3.10. Układ i profile hydrauliczne

Tworząc kompleksowy układ zagospodarowania wody opadowej na przedmiotowym terenie zieleni należy zaprojektować go jako układ hydrauliczny, który pracuje w kilku charakterystycznych stanach wypełnienia i przepływu, zależnych od dopływu wód opadowych.

1. W przypadku niewielkich opadów, całość wody powinna być gromadzona w warstwach podziemnych zaprojektowanego urządzenia lub w wierzchniej warstwie gleby. W tej sytuacji nie występuje widoczne zwierciadło wód w terenie (poza zbiornikami bioretencyjnymi lub oczkami wodnymi, które są stale wypełnione wodą).
2. Wraz ze wzrostem ilości wód opadowych, powinna ona się zbierać na powierzchni terenu (w odpowiednio wyprofilowanych zagłębieniach). Pojawia się zwierciadło wód stojących, wypełniające częściowo powierzchnię i pojemność retencyjną danego urządzenia.
3. W przypadku dalszego wzrostu ilości wód opadowych, następuje wypełnienie, a następnie nawet przepełnienie pojemności retencyjnej danego urządzenia i przelanie się nadmiaru wody do kolejnego elementu – urządzenia zaprojektowanego układu.
4. W sytuacjach wyjątkowych (ponadnormatywne opady lub sytuacje nieprzewidziane, awaryjne) dopuszczalne jest przelewanie się wody poza granice zaprojektowanych układu (*de facto* podtapianie obszarów okolicznych) lub odprowadzanie nadmiaru wody do kanalizacji miejskiej lub innego rodzaju odbiorników wód opadowych, generalnie poza przedmiotowym terenem zieleni (por. 3.3.4).

W związku z tym Projektant zobowiązany jest do przygotowania profili hydraulicznych wzdłuż najważniejszych nitek (dróg przepływu wody) zaprojektowanego układu. Profil ten, poza rzędnymi terenu, istotnych elementów zaprojektowanych urządzeniami oraz połączeń między nimi, musi obejmować również rzędne kanalizacji miejskiej lub innych odbiorników zewnętrznych (jeśli występują). Dla zasadniczych części składowych zaprojektowanego układu (zwłaszcza urządzeń BZI, takie jak niecki bioretencyjne i ogrody deszczowe; ew. zbiorniki bioretencyjne lub zbiorniki podziemne) należy również wykonać ich szczegółowe przekroje, pokazujące kluczowe poziomy wody, odpowiadające opisanym powyżej charakterystycznym stanom pracy.

3.4. Metodyka obliczeń wód opadowych

3.4.1. Wyznaczanie zlewni rzeczywistej

Podstawowym krokiem w obliczeniach wód opadowych dla analizowanego terenu zieleni miejskiej jest wiarygodne wyznaczenie zasięgu i powierzchni zlewni rzeczywistej, a także adekwatne podzielenie jej na podzlewnie cząstkowe. W wyznaczeniu zlewni rzeczywistej danego terenu zieleni, poza samym obszarem zieleni, należy również przeanalizować możliwości dopływu powierzchniowego spływu wód opadowych z terenów sąsiednich. Biorąc pod uwagę fakt, że zlewnia sąsiadująca jest zwykle zlewnią zurbanizowaną, która charakteryzuje się dużo większymi współczynnikami spływu powierzchniowego, a tym samym powierzchnią zlewni zredukowanej niż tereny zieleni (por. podrozdział 3.4.2), jej znaczenie dla omawianych zagadnień jest bardzo duże.

Analizy tego typu można przeprowadzić w oparciu o cyfrowy model terenu za pomocą ogólnodostępnego oprogramowania GIS ogólnego zastosowania lub oprogramowania specjalistycznego (np. Scalgo Live). W tym przypadku niezwykle istotna jest terenowa weryfikacja zlewni wyznaczonej metodami komputerowymi (i innymi metodami typu *desk research*), w szczególności niezbędne jest sprawdzenie przeszkód (np. krawężniki, parkany i podmurowane ogrodzenia, różnego rodzaju muldy czy wały; inne formy liniowe naturalnego lub sztucznego pochodzenia), a także wlotów do kanalizacji miejskiej lub lokalnej, generalnie wszelkich elementów, które w zlewni miejskiej mają istotny wpływ na spływ wody i mogą znacząco wpłynąć na rzeczywisty zasięg zlewni. Weryfikacja terenowa ma szczególnie duże znaczenie dla obszarów zurbanizowanych, które charakteryzują się dużymi wartościami współczynnika spływu powierzchniowego (por. podrozdział 3.4.2), a tym samym znaczącym wpływem na obliczenia istotnych parametrów projektowych (w szczególności docelowej pojemności retencyjnej urządzeń BZI i innych form retencji). Tereny zurbanizowane, w przypadku analizy terenu zieleni, są zwykle zlewnią sąsiadującą (poza bezpośrednim obszarem zainteresowania) – pozornie mniej znaczącą. Jednak z opisanych powyżej powodów wyznaczenie obszaru tej zlewni, a szczególnie jej weryfikacja terenowa musi być wykonana z należytą starannością i zaangażowaniem, nie pozostawiać wątpliwości co do uzyskanego zasięgu oraz powierzchni.

Tak wyznaczoną zlewnię rzeczywistą należy podzielić na zlewnie cząstkowe, ciążące do naturalnych zagłębień terenu, rowów lub cieków (jeśli takowe istnieją na analizowanym terenie zieleni), w ostateczności wlotów do kanalizacji miejskiej. Podczas wyznaczenia zlewni cząstkowych należy uwzględnić istniejące lub potencjalne (planowane) sposoby zagospodarowania wód opadowych dla każdej z nich, a także ich kluczowe cechy hydrologiczne (rodzaj powierzchni, sposób pokrycia i użytkowania terenu, funkcje ekologiczne, społeczne i inne).

3.4.2. Wyznaczanie zlewni zredukowanej

Następnym krokiem powinno być wyznaczenie powierzchni zlewni zredukowanej, zarówno dla całego terenu, a *de facto* dla zlewni rzeczywistej, jak i w podziale na wyznaczone podzlewnie (por. 3.4.1).

Zlewnia zredukowana jest wirtualnym pojęciem, które pozwala ocenić na ile dana zlewnia rzeczywista jest wodoprzepuszczalna, a na ile przyczynia się do powstawania spływu powierzchniowego wód opadowych, skutkując wzrostem zagrożenia podtopieniami oraz uszczelnieniem terenu. Zlewnia zredukowana jest istotnym elementem oceny tego co się dzieje (lub będzie działo na skutek inwestycji) z wodą opadową na danym terenie, stanowi doskonałą podstawę do doboru oraz wstępnego zaplanowania urządzeń gospodarki wodami opadowymi, zwłaszcza rozwiązań błękitno-zielonej infrastruktury.

Zlewnię zredukowaną dla danej zlewni rzeczywistej należy obliczyć za pomocą następującego wzoru (1):

$$F_{red} = F \cdot \psi \quad (1)$$

gdzie: F_{red} – powierzchnia zlewni zredukowanej, m²
 F – powierzchnia zlewni rzeczywistej, m²
 ψ – współczynnik spływu powierzchniowego

Współczynnik spływu – zgodnie z jego nazwą – określa jaka część wód opadowych formuje spływ powierzchniowy (pozostała część wody ulega infiltracji, odparowaniu lub zatrzymaniu). Współczynnik przyjmuje wartości od 0 do 1, gdzie 0 odpowiada zupełnemu brakowi spływu, a 1 – sytuacji gdzie cała woda opadowa zasila spływ powierzchniowy (nawierzchnia doskonale nieprzepuszczalna). Na wartość współczynnika spływu powierzchniowego, poza rodzajem podłoża glebowego (zwłaszcza jego współczynnikiem filtracji) i obecności roślinności, ma również wpływ nachylenie terenu. Współczynnik ten jest dobrze opisany w literaturze, można tam też znaleźć wiele tabel z jego wartościami dla różnego rodzaju powierzchni i form użytkowania terenu, a także nachylenia terenu.

W tabeli 3.1 zestawiono wartości współczynnika spływu powierzchniowego dla kilku rodzajów powierzchni najczęściej występujących w zlewniach zurbanizowanych. Tabela ta może być z powodzeniem stosowana w przypadku analiz dla terenów zieleni, szczególnie w przypadku mniejszych zlewni lub o małych nachyleniach, na których występują typowe warunki i rodzaje pokrycia terenu. W przypadku bardziej skomplikowanych sytuacji, tj. zlewni bardziej złożonych, dużych i charakteryzujących się większymi spadkami należy skorzystać z tabeli 3.2.

Tabela. 3.1. Zestawienie wartości współczynników spływu powierzchniowego dla podstawowych rodzajów powierzchni (WMK, 2024a³)

Rodzaj powierzchni	Współczynnik spływu
Dachy	0,95
Drogi	0,90
Bruki	0,65
Zieleńce	0,10

Tabela. 3.2. Wartość współczynnika spływu powierzchniowego w zależności od spadku terenu i rodzaju powierzchni (WMK, 2024b⁴)

Rodzaj powierzchni	Spadek, %					
	0,5	1	2,5	5	7,5	10
	Współczynnik spływu					
Dachy	0,85	0,9	0,96	0,98	0,99	1
Bruki szczelne	0,7	0,72	0,75	0,8	0,85	0,9
Bruki zwykłe	0,5	0,52	0,55	0,6	0,65	0,7
Aleje spacerowe	0,2	0,22	0,25	0,3	0,35	0,4
Parki i ogrody	0,1	0,12	0,15	0,2	0,25	0,3
Grunty rolne	0,05	0,08	0,1	0,15	0,2	0,25
Lasy	0,01	0,02	0,04	0,06	0,1	0,15
Zabudowa zwarta	0,8	0,82	0,85	0,9	0,95	1
Zabudowa luźna	0,6	0,62	0,65	0,7	0,75	0,8
Zabudowa willowa	0,4	0,42	0,45	0,5	0,55	0,6

³ Wodociągi Miasta Krakowa, *Zintegrowany Kalkulator Projektanta | Aplikacja Q-retencyjne*, która służy do obliczania limitu zrzutu wód opadowych, jakie dla standardowych warunków mogą zostać przyjęte do sieci WMK S.A. oraz wymiarowania zbiorników retencyjnych na podstawie parametrów deszczu miarodajnego; <https://wodociagi.krakow.pl/pl/strefa-klienta/zintegrowany-kalkulator-projektanta/q-retencyjne>.

⁴ Wodociągi Miasta Krakowa, *Zalecenia do wymiarowania systemów odwodnień terenów*; https://wodociagi.krakow.pl/brepo/panel_repo/2023/12/04/pknufx/wmk-zalecenia-do-wymiarowania-systemow-odwodnien-t.pdf.

3.4.3. Obliczenia ilości wód opadowych – spływu powierzchniowego

Średnią ilość wód deszczowych, które spłyną w formie spływu powierzchniowego z analizowanej zlewni, można obliczyć za pomocą wzoru (2).

$$Q_{sr} = F \cdot \psi \cdot H \quad (2)$$

gdzie: Q_{sr} – średnioroczny spływ powierzchniowy wód opadowych, m³/rok
 F – rzeczywista powierzchnia zlewni, m²
 ψ – współczynnik spływu powierzchniowego (por. tabele 3.1 i 3.2)
 H – średnia roczna suma opadów atmosferycznych, m/rok

W przypadku zlewni składającej się z obszarów o różnych formach pokrycia, wzór (2) należy zastosować niezależnie dla każdego z fragmentów, sumując wyniki, aby otrzymać spływ sumaryczny z całej zlewni. Wartość średniej rocznej sumy opadów jest łatwa do uzyskania w literaturze i źródłach internetowych. Pozostałe parametry, w szczególności współczynnik spływu powierzchniowego, opisano w poprzedniej sekcji (por. podrozdział 3.4.2) przy okazji omawiania sposobu wyznaczania zlewni zredukowanej. Średnioroczna wartość spływu wód opadowych ma ograniczone zastosowanie, może posłużyć do sporządzania bilansu wód, np. w celu porównania ilości wody z zapotrzebowaniem wody na podlewanie roślin. Z punktu widzenia zagrożenia podtopieniami i na potrzeby tworzenia systemu zagospodarowania wód opadowych, dużo istotniejsza jest zachowanie zlewni w przypadku opadu miarodajnego, który lepiej reprezentuje rzeczywiste zdarzenia opadowe. Spływ powierzchniowy wód opadowych ze zlewni można obliczyć za pomocą wzoru (3).

$$Q_d = F \cdot \psi \cdot q_{max} \quad (3)$$

gdzie: Q_d – obliczeniowy spływ powierzchniowy wód opadowych, dm³/s
 F – rzeczywista powierzchnia zlewni, m²
 ψ – współczynnik spływu powierzchniowego (por. tabele 3.1 i 3.2)
 q_{max} – opad miarodajny, dm³/(s·ha)

Opad miarodajny charakteryzuje się dodatkowymi parametrami, tj. czasem trwania (t) oraz częstością wystąpienia (C), będącą pochodną prawdopodobieństwa jego wystąpienia (p). Odpowiednie wartości tych parametrów są podawane w różnego rodzaju wytycznych i zalecaniach. Istnieje wiele metod obliczania lub szacowania wielkości opadu miarodajnego dla zestawu parametrów. Jednak projektanci w Krakowa są w wyjątkowo komfortowej sytuacji, gdyż istnieje model krakowski, który został opracowany na podstawie danych pomiarowych z 33 lat, pochodzących z deszczomierzy Wodociągów Miasta Krakowa oraz deszczomierzy IMGW. W przypadku projektowania inwestycji na terenie Krakowa, zdecydowane zalecane jest korzystanie w obliczeniach z modelu Krakowskiej, udostępnionego przez Wodociągów Miasta Krakowa na ich stronie internetowej (por. WMK, 2024b).

Na podstawie tak obliczonego spływu powierzchniowego, dla danego opadu miarodajnego, można obliczyć sumaryczną objętość spływu powierzchniowego, który powstał z danej zlewni w trakcie trwania tego opadu – wg wzoru (4).

$$V_d = Q_d \cdot t \quad (4)$$

gdzie: V_d – sumaryczna objętość spływu powierzchniowego, dm^3
 Q_d – obliczeniowy spływ powierzchniowy wód opadowych, dm^3/s
 t – czas trwania deszczu miarodajnego, s

3.4.4. Pojemność retencyjna

Pojemność retencyjna projektowanych urządzeń, w szczególności rozwiązań BZI, ma kluczowe znaczenie dla realizacji założeń zrównoważonej gospodarki wodami opadowymi, w szczególności dla skutecznego zapewnienia zatrzymania wody w krajobrazie, blisko miejsca opadu, ze wszystkiego tego pozytywnymi konsekwencjami, opisanymi w niniejszym rozdziale (szczególnie w podrozdziałach 3.2 i 3.3). Jest to parametr, który stosunkowo łatwo obliczyć, zarówno dla rozwiązań BZI, jak konwencjonalnej infrastruktury.

W przypadku urządzeń BZI bez wypełnień mineralnych (np. klasyczna niecka bioretencyjna), pojemność retencyjna jest wprost ich pojemnością fizyczną (np. w przypadku niecki jest to iloczyn jej powierzchni i średniej głębokości). W przypadku urządzeń BZI z mineralnym wypełnieniem (np. ogrody deszczowe), pojemność retencyjna jest iloczynem pojemności fizycznej i współczynnika porowatości wypełnienia mineralnego. W przypadku bardziej skomplikowanych urządzeń, składających się z szeregu warstw lub komór, pojemność retencyjną całości oblicza się jako sumę poszczególnych części składowych (obliczonych zgodnie z powyższymi zasadami).

3.5. Proponowane zalecenia zapisów (SWZ)

1. Dla przedmiotowego terenu zieleni należy wykonać analizę hydrologiczną, w szczególności rozpoznać i zmapować kierunki oraz drogi spływu powierzchniowego, a także lokalne miejsca kumulacji wody. Wnioski z tej analizy należy wykorzystać przy szczegółowym projektowaniu przedmiotowej inwestycji, tak aby minimalizować ryzyko podtopień, zmian w spływie powierzchniowym.
2. Należy wyznaczyć zasięg zlewni rzeczywistej oraz jej powierzchnię. Zlewnia rzeczywista powinna uwzględniać zarówno sam przedmiotowy teren zielony, jak tereny przyległe, z których wody opadowe w formie spływu powierzchniowego trafiają na teren zieleni.
3. Podzielić zlewnię rzeczywistą na zlewnie cząstkowe, uwzględniając istniejące lub planowane sposoby zagospodarowania wód opadowych z każdej z nich.
4. Wyznaczyć powierzchnię zlewni zredukowanej dla zlewni rzeczywistej (ad. 1), a także zlewni cząstkowych (ad. 2).
5. Projektując urządzenia gospodarki wodą opadową należy przyjąć zasadę jej retencji jak najbliższej miejsca opadu, w celu umożliwienia jej wykorzystania przez rośliny. Dlatego

należy tworzyć mikroniwelacje (niecki bioretencyjne, różnego rodzaju ogrody deszczowe i inne rozwiązania BZI mające połączenie hydrauliczne z gruntem rodzimym), zapewniające okresowe zatrzymanie nadmiaru wody opadowej i jej powolne oddawania do gleby. Należy też zapewnić możliwość spływu wód opadowych z terenów uszczelnionych i jej grawitacyjne przekierowanie na tereny zieleni.

6. Należy rezygnować ze stosowania kanalizacji podziemnej wraz z urządzeniami towarzyszącymi (np. studzienki). Jeśli jest to jednak niezbędne w wybranych miejscach, należy odpowiednio uzasadnić taką konieczność.
7. Należy unikać odprowadzania wody opadowej poza teren zieleni, w szczególności do kanalizacji miejskiej. Zaleca się stosowanie układu bezodpływowego, który jest w stanie zagospodarować całość wód opadowych na terenie zieleni. W uzasadnionych przypadkach można projektować odprowadzenie nadmiaru wód opadowych do kanalizacji, traktując to jednak jako opcję awaryjną, dopuszczalną w sytuacjach wyjątkowych.
8. Zaleca się stosowanie nawierzchni przepuszczalnych na wszelkiego rodzaju ścieżkach i ciągach pieszych, drogach rowerowych, a także ew. drogach dojazdowych lub miejscach parkingowych.
9. Należy przygotować profil hydrauliczny dla zaprojektowanego układu, obejmujący poza rzędnymi terenu, istotnych elementów zaprojektowanych urządzeniami oraz połączeń między nimi, również rzędne kanalizacji miejskiej lub innych odbiorników zewnętrznych (jeśli występują).
10. Należy zapewnić odpowiednią sumaryczną pojemność retencyjną zaprojektowanego układu gospodarowania wodą opadową. Nie może być ona mniejsza niż suma spływu powierzchniowego dla deszczu miarodajnego o prawdopodobieństwie 20% i czasie trwania 15 min. Natomiast w przypadku układu podłączonego do kanalizacji miejskiej, sumaryczna pojemność retencyjna nie może być mniejsza od pojemności szczelnego zbiornika retencyjnego (obliczonego zgodnie z miejskimi wytycznymi w tym zakresie).

4. Metodyka sporządzenia mapy terenów zieleni pod zieloną retencję

W ramach Etapu 2 zostanie opracowana Mapa zielonej retencji, pokazująca potencjał (por. podrozdział 4.1) w funkcji potrzeb (por. podrozdział 4.2) wprowadzenia różnych form retencji krajobrazowej na terenach zieleni zarządzanych przez GMK, w tym ZZM. W efekcie przeprowadzonych analiz geoprzestrzennych, wszystkie publiczne tereny zieleni zostaną zakwalifikowane do jednej z trzech kategorii (potencjał wysoki, średni, niski), odpowiadających realnym potrzebom wprowadzenia dodatkowych działań, urządzeń zwiększających możliwość bioretencji wód opadowych na danym terenie zieleni. W szczególności dotyczy to możliwości lub potrzeb kierowania wód opadowych z terenów sąsiadujących, mniej lub bardziej odległych od danego terenu zieleni (a nie tylko wód opadowych, które spadają bezpośrednio na dany teren zieleni lub w jego zlewni bezpośredniej, co zostało szczegółowo omówione i przeanalizowane w Etapie 1 opracowania, czyli w niniejszym opracowaniu). Dodatkowo zostanie wydzielona i zaznaczona na mapie kategoria specjalna, czyli obszary o najwyższym priorytecie w zakresie wzmacniania i zwiększania funkcji zielonej retencji (do realizacji w pierwszej kolejności, ze względu na olbrzymi potencjał ZR lub wyjątkowy poziom zagrożenia podtopieniami).

4.1. Warstwy charakteryzujące możliwość realizacji zielonej retencji na terenach zieleni

1. Mapa pokazująca możliwość retencji na terenach zieleni (ZR), przy obecnym zagospodarowaniu, bez dodatkowych inwestycji, jedynie przy prostych rozwiązaniach polegających na rozszczelnieniu zlewni sąsiadujących, np. nieciągłości w krawężnikach, muldy/rowy przekierowujące wody, przelewy z rowów i innych urządzeń odwadniających, przekierowanie odpływu z rynny, itp. Mapa pokazująca potencjał zielonej retencji w trzech kategoriach (potencjał wysoki, średni, niski). Kategorie te będą powiązane z klasami zieleni publicznej, wynikającymi ze struktury opracowanej w ramach dokumentu Kierunki Rozwoju i Zarządzania Terenami Zieleni w Krakowie na lata 2019–2030 (UM Krakowa, 2019), czyli tereny zieleni urządzonej (strefy A i A+), tereny zieleni ekologiczno-krajobrazowej (strefy B i B+) oraz tereny wspomagające (strefa C).
2. Mapa pokazująca potencjał zwiększenia retencji, poprzez wprowadzenie dodatkowych rozwiązań BZI i innych interwencji lub inwestycji – wyrażona w ilości retencjonowanej wody opadowej (m^3/ha) lub w potencjale do ograniczenia spływu powierzchniowego wód opadowych ($dm^3/(s \cdot ha)$). Po określeniu zakresu liczbowego zmapowanych wartości, wszystkie tereny zostaną podzielone na trzy kategorie (potencjał wysoki, średni, niski), aby umożliwić porównanie lub nałożenie jej na mapę pokazującą możliwość retencji na terenach zieleni (ad. 1), a także bardziej zaawansowane operacje na tych mapach.
3. Dodatkowe warstwy, które zostaną opcjonalnie włączone do sporządzania ww. map (z mniejszymi wagami):

- a. Mapa obszarów zieleni pod retencję, sporządzona przez Wodociągi Miasta Krakowa (WMK, 2024) – szerzej opisana w Podrozdziale 1.7 niniejszego opracowania.
- b. Mapa obszarów, na których zalecane jest przekierowanie wód opadowych na tereny zielone, opracowana w ramach opracowania (Retencja, 2019a) – szerzej opisana w Podrozdziale 1.1 niniejszego opracowania.

4.2. Warstwy charakteryzujące wody opadowe, w szczególności spływ powierzchniowy, zagrożenie podtopieniami, powodziąmi błyskawicznymi, przepełnieniami infrastruktury deszczowej

1. Mapa obrazująca ryzyko wystąpienia podtopień na terenie miasta Krakowa (nie tylko na terenach zieleni), sporządzona na podstawie mapy, będącej wynikiem modelowania kanalizacji miejskiej, przygotowanej przez Wodociągi Miasta Krakowa (WMK, 2024c). Docelowa mapa będzie zawierała trzy kategorie ryzyka (wysokie, średnie, niskie).
2. Mapa, będąca pochodną powyższej mapy (ad. 2), obrazująca kluczowe zlewnie najbardziej przeciążonych kanalizacji. Mapa również będzie zawierała trzy kategorie ryzyka (wysokie, średnie, niskie). Mapa ta będzie miała kluczowe znaczenie dla identyfikacji i zmapowania obszarów, na których wprowadzenie bioretencji ma szczególne znaczenie dla zapobiegania przeciążeniom kanalizacji miejskiej, w odróżnieniu od mapy opisanej powyżej (ad. 1), która pokazuje skutki tych przeciążeń. Znacznie łatwiej i skuteczniej jest zapobiegać przeciążeniom i przepełnieniu się kanalizacji poprzez zwiększenie retencji krajobrazowej w jej zlewni i poprzez zmniejszenie spływu powierzchniowego wód opadowych (zanim trafi on do kanalizacji), niż próbować zagospodarować wodę, która już trafiła do kanalizacji i na skutek przeciążenia wylewa się na teren (co pokazuje mapa ryzyka podtopieniami – ad. 1).
3. Mapa interwencji straży pożarnej, związanych z wystąpieniami podtopieniami i koniecznością odpompowywania wody – szerzej opisana w Podrozdziale 1.1 niniejszego opracowania.
4. Mapa spływu powierzchniowego, która zostanie sporządzona na podstawie: kategorii pokrycia terenu z BDOT, nachylenia terenu, założonego deszczu miarodajnego wg modelu Krakowskiego. Na tej podstawie zostanie obliczona wartość liczbową spływu powierzchniowego wyrażona w $\text{dm}^3/(\text{s ha})$, a następnie wyznaczone pięć kategorii wielkości spływu (bardzo duży, duży, średni, mały, bardzo mały).
5. Dodatkowe warstwy, które zostaną opcjonalnie włączone do sporządzania ww. mapy (z mniejszymi wagami):
 - a. Mapa zagrożenia podtopieniami sporządzona w ramach opracowania (Retencja, 2019a) – szerzej opisana w Podrozdziale 1.1 niniejszego opracowania.

LITERATURA

- Bergier, T., Kowalewska, A. (red.), 2019. *Błękitno-zielona infrastruktura dla łagodzenia zmian klimatu w miastach – katalog techniczny*. Fundacja Sendzimira – Ecologic Institute, Kraków – Berlin.
- Bergier, T., Kronenberg, J., Wagner, I. (red.), 2014. *Woda w mieście. Seria Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 5*. Fundacja Sendzimira, Kraków.
- Fundacja Sendzimira, 2021a. Broszura informacyjna *Infiltracyjna niecka retencyjna*. https://sendzimir.org.pl/wp-content/uploads/2022/06/B5_Stawiguda_Niecki_v08web.pdf
- Fundacja Sendzimira, 2021b. Broszura informacyjna *Metody zwiększania retencji wody deszczowej do gruntu. Nawierzchnie przepuszczalne, studzienki chłonne*. https://sendzimir.org.pl/wp-content/uploads/2019/03/04_zwiekszenie_retencji.pdf
- Fundacja Sendzimira, 2021c. Broszura informacyjna *Naturalistyczny zbiornik retencyjny*. https://sendzimir.org.pl/wp-content/uploads/2019/03/Naturalistyczne_stawy_retencyjne.pdf
- Fundacja Sendzimira, 2021d. Broszura informacyjna *Ogrody deszczowe w gruncie*. https://sendzimir.org.pl/wp-content/uploads/2022/06/B5_Stawiguda_Ogrody-deszczowe_wgruncie_v08web.pdf
- Jeleński, T., Bergier, T., Gosk, I. (red.), 2020. *Błękitno-zielona infrastruktura dla łagodzenia zmian klimatu w miastach – narzędzia strategiczne*. Fundacja Sendzimira – Ecologic Institute, Kraków – Berlin.
- KEGW, 2024, *Koncepcje odwodnienia poszczególnych dzielnic: Bronowice i Prądnik, Grębałów i Lubocza, Pychowice, Rybitwy i Przewóz, Nowohucka, Nowa Huta*. KEGW: Klimat-Energia-Gospodarka Wodna, Kraków.
- Retencja, 2019a. *Charakterystyka i ocena funkcjonowania systemu odwodnienia oraz przygotowanie wytycznych zrównoważonego planowania przestrzennego w obszarze gospodarki wodami opadowymi i roztopowymi na terenie Krakowa. Etap 1*.
- Retencja, 2019b. *Charakterystyka i ocena funkcjonowania systemu odwodnienia oraz przygotowanie wytycznych zrównoważonego planowania przestrzennego w obszarze gospodarki wodami opadowymi i roztopowymi na terenie Krakowa. Etap 2*.
- Retencja, 2020. *Koncepcja retencji i wykorzystania wód opadowych w Parku Lilli Wenedy*. Projekt koncepcyjny. Numer raportu: PLW-KP-O-D001-2.
- Suchocka, M., 2013. *Podłoża strukturalne i inne metody ułatwiające rozwój drzew w trudnych warunkach siedliskowych miast*. W: Bergier, T., Kronenberg, J., Lisicki, P. (red.), *Przyroda w mieście – rozwiązania. Seria Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 4*. Fundacja Sendzimira, Kraków, s. 38–49.
- UMK, 2019. *Kierunki Rozwoju i Zarządzania Terenami Zieleni w Krakowie na lata 2019-2030*. Dokument przyjęty Zarządzeniem Prezydenta Miasta Krakowa nr 2282/2019 z dnia 09 września 2019 r.
- UMK, 2023a. *Plan Ograniczenia Skutków Powodzi oraz Odwodnienia Miasta Krakowa*. Dokument przyjęty Uchwałą nr CXXIV/3390/23 Rady Miasta Krakowa z dnia 6 grudnia 2023 r.
- UMK, 2023b. UCHWAŁA NR CVIII/2934/23 RADY MIASTA KRAKOWA z dnia 5 kwietnia 2023 r. w sprawie zasad udzielania i rozliczania dotacji celowej na zadania służące ochronie zasobów wodnych w ramach krakowskiej mikroretencji wód opadowych i roztopowych.
- UMK, 2023c. *Ekspertyza Miejskiej Wyspy Ciepła w Krakowie*. Opracowanie wykonane przez Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz Wydział Geodezji, Referat ds. Miejskiego Systemu Informacji Przestrzennej, wykonane na zlecenie Wydziału Gospodarki Komunalnej i Klimatu Urzędu Miasta Krakowa w ramach projektu LIFE-IP EKOMALOPOLSKA „Wdrażanie Regionalnego Planu Działań dla Klimatu i Energii dla województwa małopolskiego”.
- UMK, 2023d. *Inwentaryzacja obszarów szczególnie wrażliwych (MWC) pod zalecenia z błękitno-zielonej infrastruktury*. Opracowanie wykonane przez Wydział Geodezji Urzędu Miasta Krakowa oraz Wydział Gospodarki Komunalnej i Klimatu Urzędu Miasta Krakowa, w ramach projektu LIFE-IP EKOMALOPOLSKA „Wdrażanie Regionalnego Planu Działań dla Klimatu i Energii dla województwa małopolskiego”.

- WMK, 2024a. *Zalecenia do wymiarowania systemów odwodnień terenów*; Wodociągi Miasta Krakowa, https://wodociagi.krakow.pl/brepo/panel_repo/2023/12/04/pknufx/wmk-zalecenia-do-wymiarowania-systemow-odwodnien-t.pdf (dostęp 3.12.2024).
- WMK, 2024b. *Zintegrowany Kalkulator Projektanta*, Wodociągi Miasta Krakowa, <https://wodociagi.krakow.pl/pl/strefa-klienta/zintegrowany-kalkulator-projektanta> (dostęp 3.12.2024).
- WMK, 2024c. *Mapa ryzyka podtopień z kanalizacji miejskiej*. Wodociągi Miasta Krakowa.
- WMK, 2024d. *Mapa terenów zieleni kluczowych pod kątem retencji*. Wodociągi Miasta Krakowa.
- Wody Polskie, 2024, *Hydroportal*, Państwowe Gospodarstwo Wody Polskie, <https://isok.gov.pl/hydroportal.html> (stan na 28.11.2024)