

Cyfrowe projektowanie systemów odwodnień

Jest co najmniej kilka argumentów, które przemawiają za słusznością poglądu o konieczności cyfryzacji projektowania systemów odwodnień. Przede wszystkim warto spojrzeć na obiektywne liczby i przeanalizować je pod kątem najbliższej przyszłości.

WSTĘP

Jeśli zestawimy dane z aglomeracji raportujących do programu KPOŚK (Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych) to okaże się, że w okresie od 2014 roku do 2019 roku łączna długość kanalizacji deszczowej wzrosła od niespełna 26 tysięcy km do blisko 32 tysięcy km [1]. Choć jest to bardzo zgrubna i tylko ilościowa statystyka, to dowodzi ona, że już teraz zwiększa się rola kanalizacji deszczowej, a zatem także ranga ich projektowania. Przy tym, co podkreśla Benchmarking IGWP [2], w Programie Operacyjnym Infrastruktura i Środowisko (POIiŚ jest jednym z narzędzi współfinansowania realizacji KPOŚK) w perspektywie budżetowej 2014–2020 zadania w zakresie budowy i modernizacji kanalizacji deszczowej mogły być tylko zadaniami towarzyszącymi zadaniu priorytetowemu w postaci budowy nowej sieci kanalizacji sanitarnej. W miastach, a zwłaszcza na szybko rozwijających się ich przedmieściach rośnie presja społeczna w zakresie rozbudowy systemów kanalizacji deszczowej. Pewnym miernikiem tej presji może być wskaźnik „napływu wód przypadkowych” – opisujący udział ścieków niezafakturowanych w ogólnej ilości ścieków wprowadzanych do systemu kanalizacyjnego doprowadzającego ścieki do oczyszczalni. Wskaźnik ten ujmuje nie tylko nieszczelności przewodów kanalizacji sanitarnej i nieszczelności studzienek, ale w znacznej mierze nielegalne podłączenia i zrzuty, w tym właśnie wód deszczowych i opadowych. Wskaźnik ten jest bardzo wysoki i średnio wynosi 33,24%, 41,91% i 41,06%, odpowiednio w grupie przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych: dużych, średnich i małych [2].

Tam, gdzie sieci kanalizacji sanitarnej już są, bywają mocno „nadużywane” przez mieszkańców do odprowadzania wód opadowych i roztopowych, zwykle z uwagi na brak alternatywy w postaci kanalizacji deszczowej.

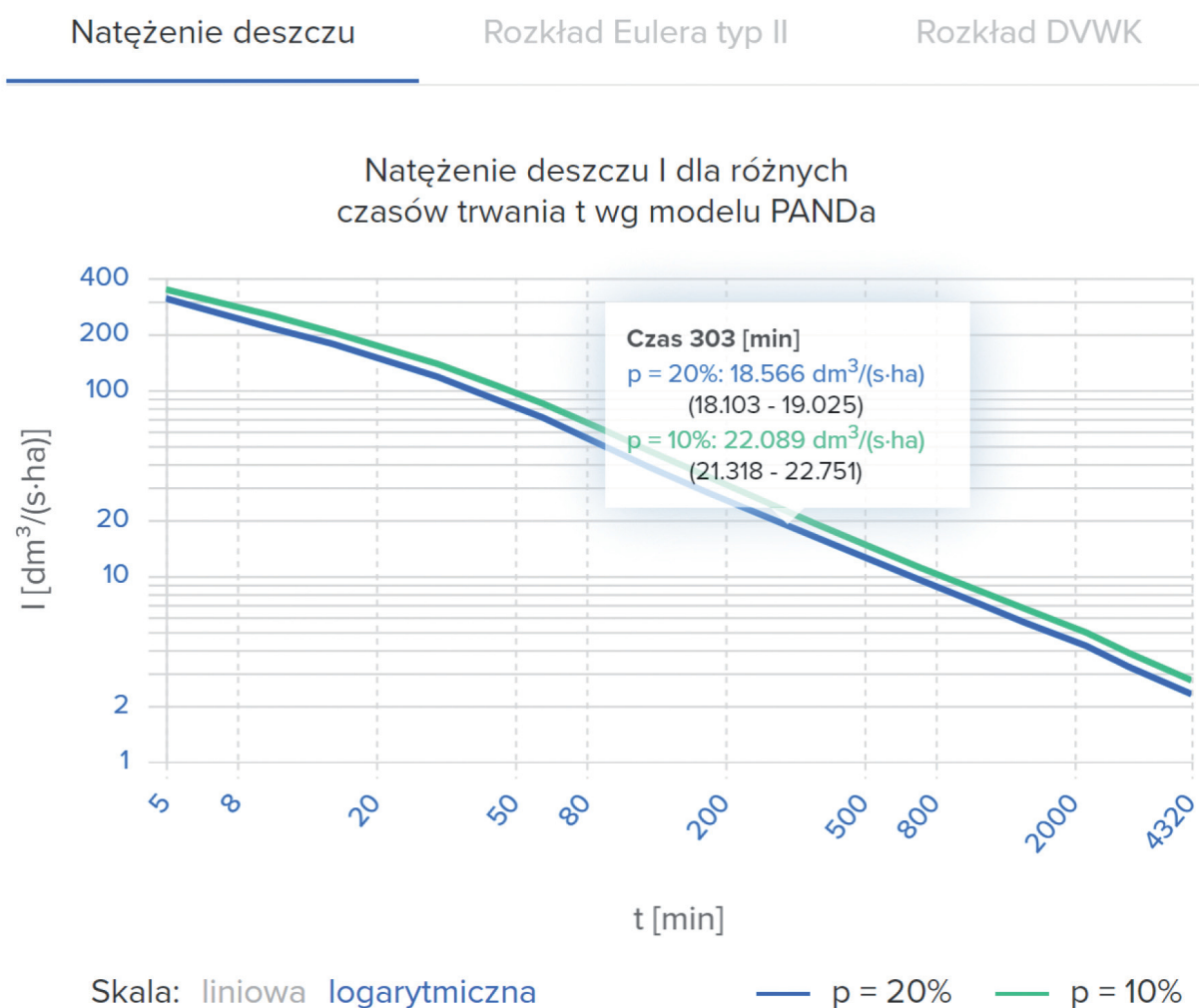
O tym, że pojawia się ożywienie na rynku projektowania systemów odwodnienia przekonują jeszcze wyraźniej efekty wdrażania projektów typu 2.1.5 POIiŚ pt. „Systemy gospodarowania wodami opadowymi na terenach miejskich”. W czterech pierwszych naborach wniosków do tego programu wsparto łącznie 43 projekty (o kwocie dofinansowania ponad 1 mld zł). Ciekawych refleksji dostarcza jakościowe spojrzenie na wskaźniki produktu i rezultatu w typie projektów 2.1.5. Zgodnie ze stanem na koniec 2019 roku: powierzchnia objęta systemami zagospodarowania wód opadowych obejmowała łącznie 123 km², liczba wybudowanych i przebudowanych urządzeń służących gospodarowaniu wodami opadowymi z wyłączeniem kanalizacji deszczowej wynosiła odpowiednio 354 i 67, objętość retencjonowanej wody sięgała ponad 682 tys. m³, a sumaryczna pojemność obiektów małej retencji była niewiele mniejsza i przekraczała 512 tys. m³. Liczba osób objętych wyżej wymienionymi modernizowanymi lub budowanymi systemami wyniosła blisko 1,8 mln, a przy tym, co może zaskakiwać, wybudowano jedynie 162 km i przebudowano 149 km sieci kanalizacji deszczowej.

Za podanymi powyżej suchymi liczbami kryje się rewolucja w warsztacie projektowania systemów odwodnienia. Filozofia „collect and drain” szybkiego skoncentrowania spływu powierzchniowego, przechwycenia go do sieci kanałów i jak najszybszego odprowadzenia do odbiornika skończyła się. Kluczowym miernikiem potrzeb w zakresie miejskich systemów kanalizacji deszczowej nie jest już tylko długość sieci kanałowej, ale objętość zbiorników do retencjonowania, rozsączania i zagospodarowania wód opadowych. Coraz rzadziej spotyka się warunki odbioru wód opadowych i roztopowych bez narzuconego limitu maksymalnego odpływu na poziomie rzędu kilku lub kilkunastu l/s, co wymusza projektowanie retencji. Retencja oraz zagospodarowanie wód opadowych i roztopowych są przy tym kluczowe nie tylko w przypadku miejskich systemów odwodnienia. Podróżując siecią nowych dróg i autostrad w Polsce mijamy dziesiątki zbiorników retencjonujących, odparowujących i infiltrujących wody opadowe i roztopowe. Wszystko to znajduje swoje uzasadnienie w Ustawie z dnia 20 lipca 2017 roku Prawo wodne [N1]. Zgodnie z nowym Prawem wodnym, wody opadowe i roztopowe ujmowane nawet w zamknięte kanały przestały być

określane mianem ścieków deszczowych. Dopiero po ich zmieszaniu ze strumieniami ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych stają się ściekami komunalnymi, czego nie warto czynić z uwagi na dalsze koszty oczyszczania i zrzutu oczyszczonych ścieków. Co więcej, Prawo wodne w sposób bezpośredni zachęca do zmniejszenia maksymalnego strumienia i objętości zrzucanych wód opadowych oraz do zwiększania retencji na obszarze zlewni. Takie działania są premiowane w systemie naliczania i poboru opłat za usługi wodne (a konkretnie odprowadzanie do wód: wód opadowych lub roztopowych ujętych w otwarte lub zamknięte systemy kanalizacji deszczowej, służących do odprowadzania opadów atmosferycznych, albo systemy kanalizacji zbiorczej w granicach administracyjnych miast).

Bezspornie trzeba zmienić warsztat projektowania, a zmianę tą warto i należy połączyć z cyfryzacją. Za takim właśnie rozwiązaniem przemawia co najmniej kilka argumentów. Przede wszystkim to co jest na wejściu do projektowania, potem to co stanowi sedno obliczeń, a na koniec to co jest wyjściem całego procesu.

Na wejściu do projektowania musi znajdować się cyfrowa informacja o natężeniach (wysokościach) opadów miarodajnych. W toku dalszych obliczeń projektowych trzeba często stosować formuły niemające rozwiązań analitycznych, przeprowadzać szereg obliczeń metodą kolejnych przybliżeń, a przy tym korzystać często z know-how dostawców technologii, nieudostępnianego w podręcznikach. Wszystko to współcześnie nie jest już problemem w świecie cyfrowych technologii. Na koniec cały proces obliczeniowy musi kończyć się doбором optymalnego rozwiązania produktowego, spełniającego wiele kryteriów. Także w tym wymiarze korzystanie z cyfrowych katalogów produktów oraz rekomendowanych rozwiązań sugerowanych przez algorytmy komputerowe może nie tylko oszczędzać czas, ale także chronić przed grubymi błędami projektowymi.



Rys. 1. Przykładowe odczyty natężeń deszczów miarodajnych z Atlasu PANDa, krzywe natężeń deszczów miarodajnych (podstawowa i kontrolna) wykreślone w układzie podwójnie logarytmicznych osi; na wykresie

widzieć precyzyjne wartości natężeń miarodajnych dla czasu 303 min wraz z podanymi przedziałami ufności

CYFROWY ATLAS OPADOWY PANDa

Na wejściu projektowania systemów odwodnienia musi być wiedza o opadach. Źródłem tej wiedzy nie może być prosty w użyciu empiryczny wzór Błaszczyka z 1954 roku. Nie można projektować obiektów typu zbiorniki retencyjne lub rozsączające wody opadowe i roztopowe, których czas opróżniania sięga często 24 godzin, korzystając z formuły, którą opracowano na podstawie badań maksymalnych opadów o czasach trwania od 5 minut do 3 godzin. Mając na uwadze zmiany klimatyczne, jakie miały miejsce w ostatnich dziesięcioleciach, do projektowania nie można stosować tylko wzoru Błaszczyka [3], ale także modelu opadów maksymalnych Bogdanowicza i Stachyego [4].

Obydwa modele mają już dziś bardzo wyraźną tendencję do zaniżania realnych natężeń deszczów miarodajnych, o czym wiadomo z praktyki i czego dowiodły badania przeprowadzone na sieci deszczomierzy z całej Polski. Szczegółowe wyniki tych badań można odnaleźć w Internecie [5, 6]. Przy tym, dodatkowymi mankamentami modelu Bogdanowicz-Stachy są jego ograniczenia co do zasięgu terytorialnego oraz skokowe zmiany estymat opadów maksymalnych na mało precyzyjnie zdefiniowanej granicy regionów opadowych.

W to miejsce potrzebna jest precyzyjna i aktualna informacja o opadach miarodajnych do projektowania dla szerokiego zakresu czasów trwania od 5 minut do 3 dni i dla częstości opadów C od 1 roku do co najmniej 10 lat, a czasami 20, 30, 50 lub nawet 100 lat. Takim źródłem informacji inżynierskiej o opadach w całej Polsce jest atlas PANDa (Polski Atlas Natężeń Deszczów).

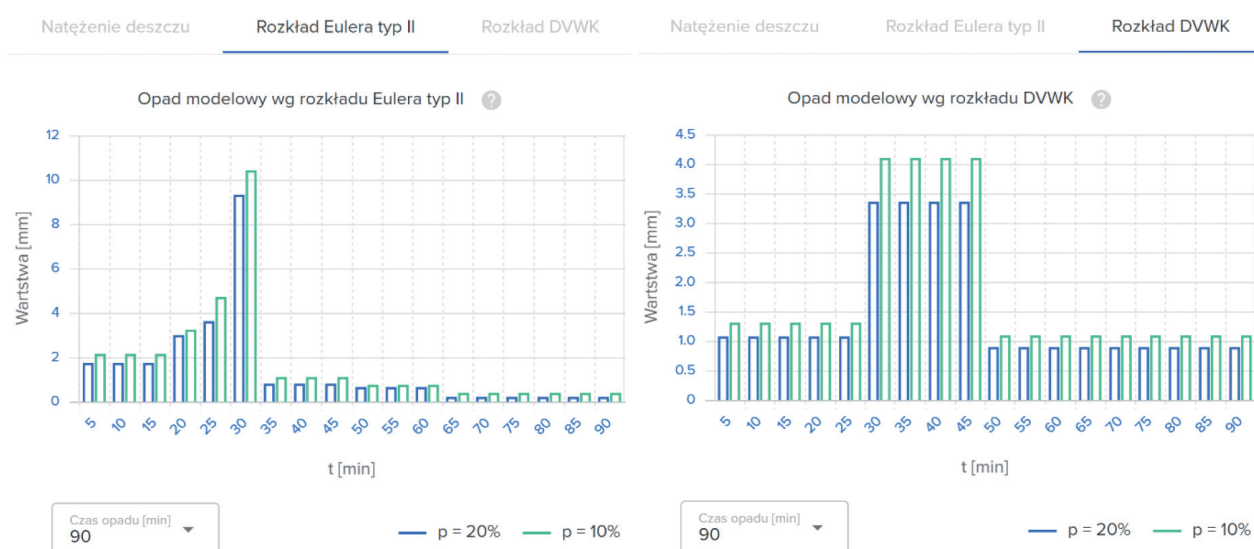
W ramach projektu przeanalizowano 3000 rocznych rejestracji opadów w wysokiej rozdzielczości czasowej z całej Polski (po 30 lat dla każdej ze 100 stacji). Po raz pierwszy z tak dużego zbioru pomiarowego wydzielono maksymalne wysokości opadów dla czasów trwania od 5 minut do 3 dni. Maksyma te zweryfikowano korzystając z niezależnych źródeł informacji o opadach (w tym nowego cyfrowego źródła – rejestracji radarowych). Zweryfikowane maksima opadów na sieci 100 stacji w Polsce były podstawą do interpolacji maksymalnych miarodajnych opadów dla całego kraju. Zastosowano w tym celu zaawansowane numerycznie narzędzie w postaci symulacji geostatystycznych. W efekcie udało się wiarygodnie określić lokalne wysokości opadów miarodajnych, które stanowiły bazę do opracowania probabilistycznych modeli opadowych, opartych na uogólnionym rozkładzie Pareto. W ten sposób lokalne modele opadowe zostały opracowane dla 12855 oczek siatki interpolacyjnej o wymiarach 5 km na 5 km, pokrywającej cały obszar Polski. Metodyka opracowania Atlasu PANDa jest prezentowana szczegółowo w dostępnej w Internecie monografii z serii publikacji naukowo-badawczych IMGW-PIB [7].

PANDa to jednak coś więcej niż tylko olbrzymi zbiór blisko 13 tysięcy unikalnych modeli opadowych. To pierwszy w Polsce cyfrowy atlas opadowy. Zasadnicza różnica pomiędzy dyskretnymi modelami opadowymi, opracowywanymi dla poszczególnych deszczomierzy, a atlasem opadowym, bazującym na jednoczesnym przetworzeniu danych opadowych z dużej sieci deszczomierzy polega na tym, że w przypadku atlasu opadowego możliwe jest nie tylko odczytanie wysokości (natężeń) opadów miarodajnych, ale także przedziałów ufności podawanych wielkości. Z takim zaawansowanym podejściem do udostępniania informacji o opadach dla inżynierów można było jak dotąd spotkać się w przypadku np. Atlasu KOSTRA w Niemczech lub NOAA Atlas 14 w USA. Teraz ten sam poziom funkcjonalności jest dostępny w Polsce dzięki Atlasowi PANDa.

Korzystanie z zasobów Atlasu PANDa odbywa się cyfrowo i służy do tego specjalnie przygotowany portal internetowy [8]. Na portalu tym można, po założeniu darmowego konta, wskazać na mapie Google lokalizację planowanego obiektu, dla którego chcemy pozyskać dane. Dla małych inwestycji, typu np. przyłącza deszczowego, mogą to być tzw. dane podstawowe, czyli natężenia deszczów miarodajnych dla czasów od 5 minut do 30 min.

Dla dużych projektów, w tym systemów odwodnienia obejmujących elementy retencyjne wskazane jest korzystanie z pełnych danych (odczyt całych krzywych natężeń opadów miarodajnych dla czasów od 5 min do 3 dni). Każdorazowo wymagane też jest podanie prawdopodobieństw dla dwóch krzywych natężeń

deszczów. Dane opadowe są prezentowane domyślnie dla dwóch krzywych, co wynika z zalecanego współcześnie podejścia do projektowania systemów odwodnienia. Systemy te powinny być obliczane na przyjętym przez projektanta poziomie prawdopodobieństwa (wynikającym najczęściej z rekomendacji normy kanalizacyjnej PN-EN 752 [N2]), do czego służy krzywa podstawowa. Następnie nowo projektowane rozwiązania powinny być weryfikowane poprzez modelowanie hydrodynamiczne z użyciem opadów modelowych (hietogramów wzorcowych) opracowywanych na bazie krzywej natężeń deszczów (krzywej kontrolnej) dla odpowiednio niższego poziomu prawdopodobieństwa występowania opadów [9]. Najczęściej używane w modelowaniu hydrodynamicznym sieci kanalizacyjnych w Polsce opady modelowe – rozkłady Eulera typ II oraz DVWK, mogą być od razu wygenerowane na podstawie obydwu krzywych natężeń deszczów. Przykładowy odczyt pełnych danych opadowych z Atlasu PANDa jest prezentowany na rysunku 1. Na rysunku 2 zestawiono hietogramy wzorcowe sporządzone wg rozkładów Eulera typ II oraz DVWK dla deszczu o czasie trwania 90 min na podstawie krzywych natężeń deszczów z rysunku 1.



Rys. 2. Hietogramy wzorcowe sporządzone wg rozkładów Eulera typ II oraz DVWK dla deszczu o czasie trwania 90 min na podstawie krzywych natężeń deszczów z rysunku 1

INTERNETOWA PLATFORMA PROJEKTOWA

Dzięki publikacji cyfrowego Atlasu PANDa, możliwe stało się uruchomienie cyfrowej platformy projektowej [10] z narzędziami pozwalającymi projektować w zakresie odprowadzania, retencjonowania, zagospodarowania i podczyszczania wód opadowych oraz roztopowych. Narzędzia doboru na platformie [10] są uzupełnieniem doradztwa technicznego dla projektantów, dzięki możliwości obliczania systemów odwodnienia na podstawie wiarygodnych natężeń deszczów z Atlasu PANDa.

Obecnie cyfrowa platforma (rys. 3) składa się z siedmiu kalkulatorów pozwalających na dobór:

- betonowych zbiorników retencyjnych
 - odwodnień liniowych
 - systemów rozsączających
- rurowych zbiorników retencyjnych
 - pompowni
- przewodów grawitacyjnych
 - zielonych dachów.

Wybierz narzędzie doboru



Rys. 3. Kalkulatory doboru dostępne na platformie cyfrowej [10]

Wszystkie wymienione kalkulatory są całkowicie bezpłatne dla ich użytkowników. Korzystanie ze wszystkich narzędzi jest intuicyjne i proste. Składa się ono z trzech podstawowych kroków (wyjątkiem jest tylko bardziej złożony dobór pompowni wymagający czterech kroków). W kroku pierwszym podawana jest lokalizacja inwestycji niezbędna do przyjęcia właściwego modelu opadowego PANDa oraz parametrów takich jak np. głębokość przemarzania gruntów. W kroku drugim definiowane są parametry brzegowe niezbędne do obliczeń, np. powierzchnia zlewni, współczynniki spływu, dopuszczalny limit zrzutu wód opadowych i roztopowych, wymagana retencja, współczynniki infiltracji. Trzeci krok to prezentacja wyników obliczeń połączona z doбором optymalnego rozwiązania projektowego, które kończy się pobraniem kompletnego załącznika do projektu. Co ważne z punktu widzenia wygody stosowania platformy, wszystkie doборы użytkownika są zapisywane w zakładce „Twoje doборы”. To pozwala na powrót do archiwalnych doborów po dowolnym czasie, ich zmodyfikowanie i ponowne przeliczenie. Poniżej z uwagi na ograniczenia niniejszego artykułu omawiane są w sposób skrótowy poszczególne kalkulatory wraz z odesłaniem do fachowej literatury, dotyczącej zaimplementowanych w nich algorytmów obliczeniowych. Wiele informacji wyjaśniających działanie narzędzi można pozyskać z komentarzy z pomocą, dołączonych do większości pól wyboru.

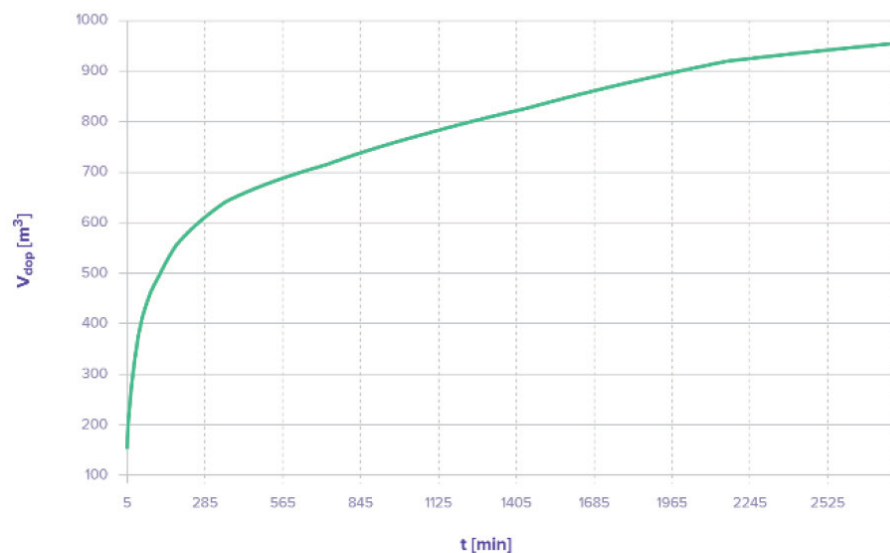
KALKULATORY BETONOWYCH I RUROWYCH ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH

Kalkulatory zbiorników retencyjnych były jednymi z pierwszych narzędzi dostępnych na platformie cyfrowej [10]. Obliczenia realizowane przez te kalkulatory opierają się na metodzie wskaźnikowej (według niemieckiej wytycznej technicznej DWA A-117 [11]), opisywanej szczegółowo w książce Kotowskiego [12].

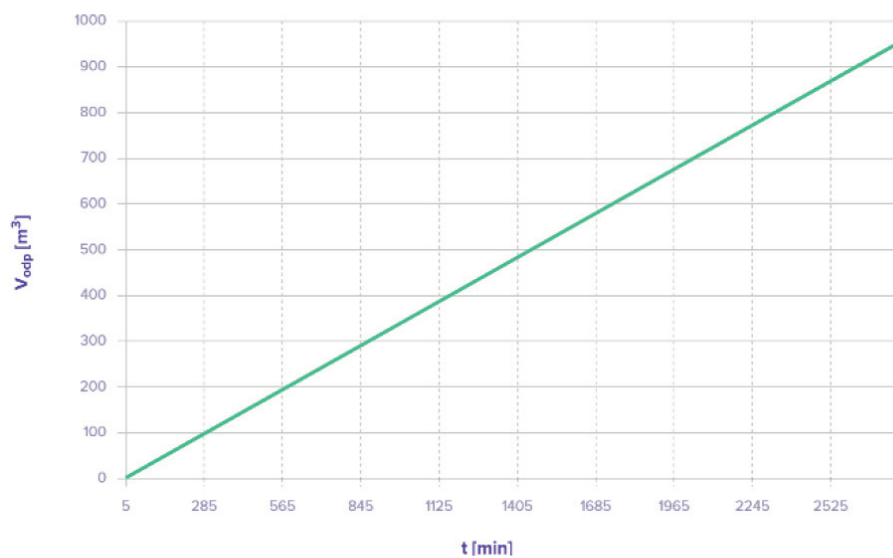
Obliczając niezbędną retencję, poszukuje się maksymalnej różnicy pomiędzy objętością dopływu do zbiornika, a objętością odpływu z niego dla różnych czasów trwania deszczów, co graficznie prezentuje rysunek 4. Uwzględnia się przy tym współczynnik redukcyjny (biorący pod uwagę transformację hydrogramu dopływu do zbiornika w kanale) oraz współczynnik ryzyka pozwalający na wprowadzenie przez projektanta dodatkowego marginesu bezpieczeństwa.

W przypadku kalkulatora zbiorników rurowych dla obliczonej niezbędnej objętości retencji proponowany jest zbiornik złożony z wybranej przez projektanta liczby ciągów o przyjętej średnicy rur. W przypadku kalkulatora zbiorników betonowych obliczona objętość może być dodatkowo powiększona o rezerwę wód opadowych i roztopowych na cele komunalne, przeciwpożarowe oraz do podlewania zieleni. Na tak zwiększoną objętość dobierany jest układ prefabrykowanych zbiorników, który to dodatkowo może być zaopatrzany w równolegle dobierany układ podczyszczający.

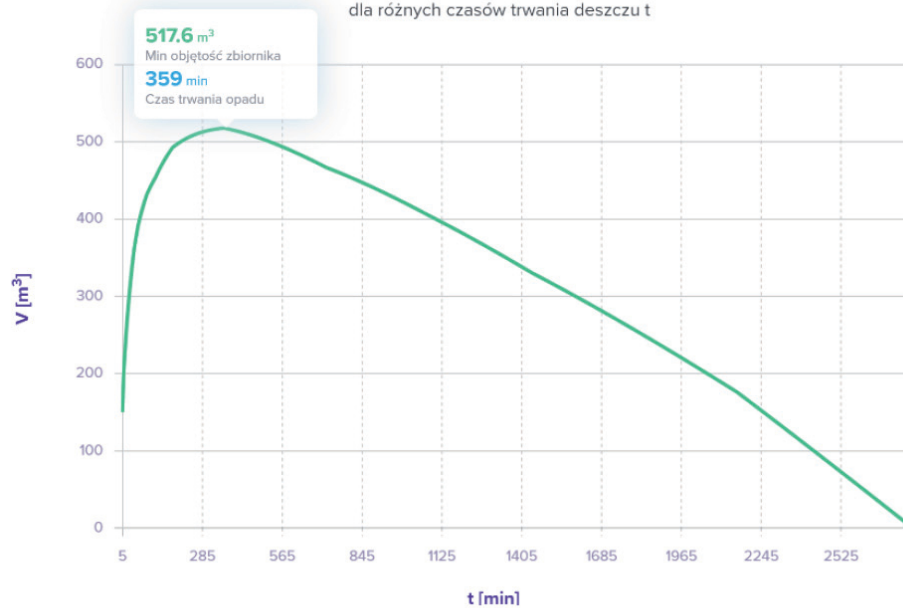
Objętość dopływu wody V_{dop}
do zbiornika dla czasu t



Objętość odpływu wody V_{odp}
ze zbiornika dla czasu t



Minimalna objętość zbiornika V
dla różnych czasów trwania deszczu t



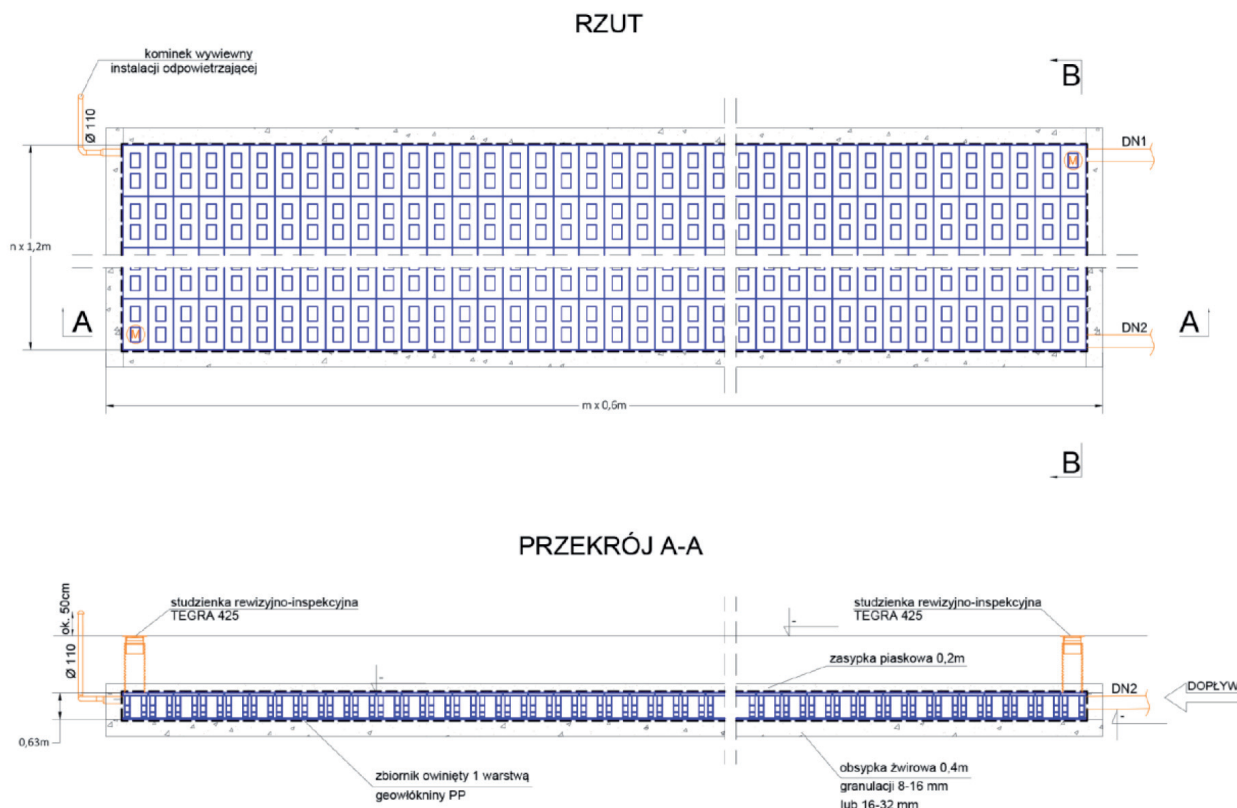
Rys. 4. Przykładowe obliczenia niezbędnej objętości zbiornika retencyjnego: objętości dopływu, odpływu i ich różnice dla różnych czasów trwania deszczu; wymagana objętość zbiornika równa 517,6 m³ jest uzyskiwana dla deszczu miarodajnego o czasie trwania 359 min

KALKULATOR SYSTEMÓW ROZSĄCZAJĄCYCH

W kwietniu 2005 roku w Niemczech opublikowana została wytyczna techniczna DWA-A 138 „Planowanie, budowa i eksploatacja urządzeń do infiltracji wody opadowej” [13]. Wytyczna ta zmieniła realia i skalę stosowania rozsączania wód opadowych i roztopowych. Systemy do rozsączania wód opadowych i roztopowych przestały mieć jedynie niedużą (zdecentralizowaną) wielkość. Dopuszczono możliwość stosowania infiltracji scentralizowanej, dla której to przygotowano odpowiedni warsztat obliczeniowy i konkretne zalecenia eksploatacyjne. Warsztat obliczeniowy systemów rozsączania wód opadowych i roztopowych w Niemczech oparto na natężeniach deszczów miarodajnych z Atlasu KOSTRA i na modyfikacji wspomnianej już wytycznej technicznej DWA A-117 [11]. Modyfikacja ta polegała na zastąpieniu strumienia odpływu ze zbiornika przez natężenie infiltracji wody do gruntu.

Analogiczny warsztat obliczeniowy jest podstawą działania kalkulatora systemów rozsączających na platformie cyfrowej [10]. W sposób oczywisty w kalkulatorze Atlas KOSTRA jest zastąpiony Atlasem PANDa. Tak jak w przypadku kalkulatorów zbiorników retencyjnych, obliczenia są przeprowadzane dla kolejnych czasów trwania deszczu (co minutę od 5 min do 4320 min), a ich wynikiem jest maksymalna różnica pomiędzy objętością dopływu do zbiornika i objętością rozsączanych wód. Z uwagi na złożoność funkcjonowania systemów rozsączających, zwłaszcza w wieloletniej perspektywie czasu ich eksploatacji, nie stosuje się współczynnika redukcyjnego oraz współczynnika ryzyka, zwiększającego poziom bezpieczeństwa. Bezpieczeństwo obliczeń jest uzyskiwane przez kilka innych zabiegów. Przede wszystkim należy zwrócić uwagę na prawidłowe podanie wielkości współczynnika infiltracji. Deklarowana przez użytkownika wartość jest traktowana jako współczynnik dla gruntu nasyconego wodą, podczas gdy do obliczeń jest przyjmowana wartość o połowę mniejsza, jak dla gruntu nienasyconego wodą.

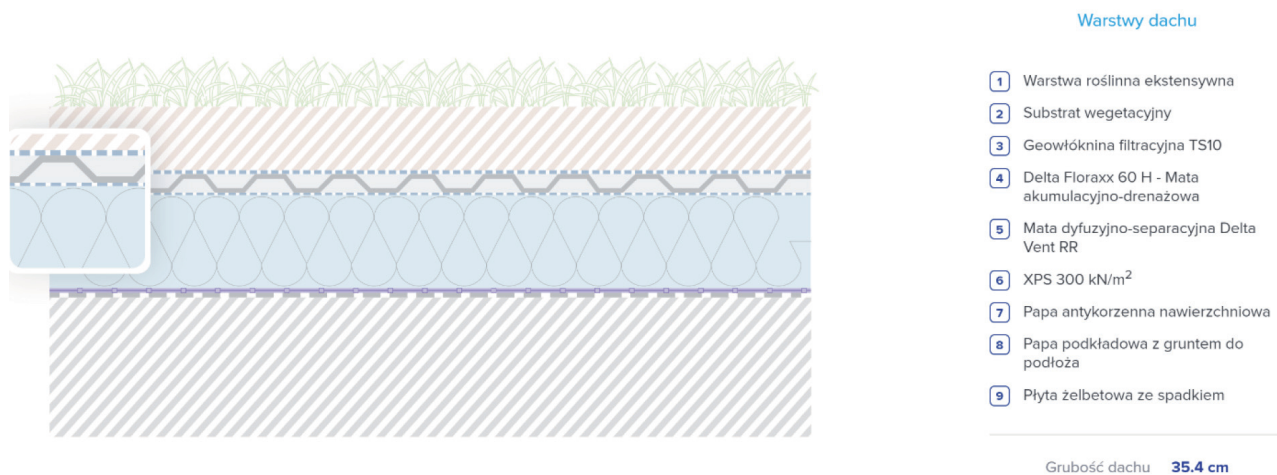
Idąc dalej w stronę bezpieczeństwa, infiltrację oblicza się na podstawie prawa Darcy’ego, przyjmując zachowawczo spadek hydrauliczny równy 1 oraz uwzględniając, że woda infiltruje do gruntu jedynie przez powierzchnię dna zbiornika i połowę powierzchni ścian bocznych zbiornika. Na koniec mając na uwadze przyszłe funkcjonowanie systemu rozsączania w skrajnie niekorzystnych warunkach fali kilku opadów występujących jeden po drugim w okresie kilku dni, oblicza się dodatkowo czas opróżniania całego zbiornika i na ten czas nakłada się warunek, aby był on krótszy od 24 godzin. Warto przy tym jeszcze podkreślić, to co może nie zauważać użytkownik. Otóż do obliczeń konieczna jest a priori znajomość gabarytów zbiornika (aby znać pole powierzchni infiltracji). Kalkulator w trakcie obliczeń analizuje optymalne pod względem ilości wykorzystywanego materiału (skrzynek infiltracyjnych różnego typu) konfiguracje zbiornika, które mogą być zabudowane na zdefiniowanym przez użytkownika obszarze terenu, prezentując na wyjściu rekomendowane rozwiązanie (rys. 5).



Rys. 5. Rzut z góry i przekrój podziemnego zbiornika rozsączającego wody opadowe, wygenerowane w wyniku obliczeń na platformie cyfrowej [10]

KALKULATOR DOBORU ZIELONYCH DACHÓW

Znacznie prostszym pod względem obliczeniowym, lecz nie mniej użytecznym pod kątem odbudowy potencjału retencyjnego zlewni miejskich narzędziem jest kalkulator doboru zielonych dachów. Stosowanie technologii zielonych dachów na powierzchniach stropodachów, tarasów oraz płyt garażowych jest często jedyną możliwością spełnienia wymogu minimalnego procentu powierzchni biologicznie czynnych np. na terenach nowych inwestycji mieszkaniowych. Dobór optymalnej technologii zielonego dachu może być prowadzony z uwagi na kryterium osiągnięcia wymaganego poziomu retencji lub też określonej grubości warstw. Wynikiem doboru jest nie tylko konkretna konstrukcja wykonania zielonego dachu (rys. 6), ale także porównanie maksymalnych odpływów z powierzchni inwestycji przed i po wykonaniu zielonego dachu. Obliczenia te są prowadzone z użyciem klasycznego modelu racjonalnego poprzez przemnożenie powierzchni przez współczynnik spływu i natężenie opadu. Do obliczeń przyjmuje się lokalne natężenie deszczu miarodajnego według Atlasu PANDa dla czasu trwania 5 min i o prawdopodobieństwie $p = 20\%$ (tak jak do obliczeń odwodnień dachów). W wariancie bez zielonego dachu przyjmuje się współczynnik spływu $\psi = 1,0$ (jak dla szczelnego dachu), podczas gdy dla wybranej z użyciem kalkulatora powierzchni zielonego dachu współczynnik spływu ma niższą wartość, uzależnioną od miąższości substratu (stosuje się przy tym rekomendacje zapisane w „Wytocznych dla dachów zielonych” DAFA [14]).



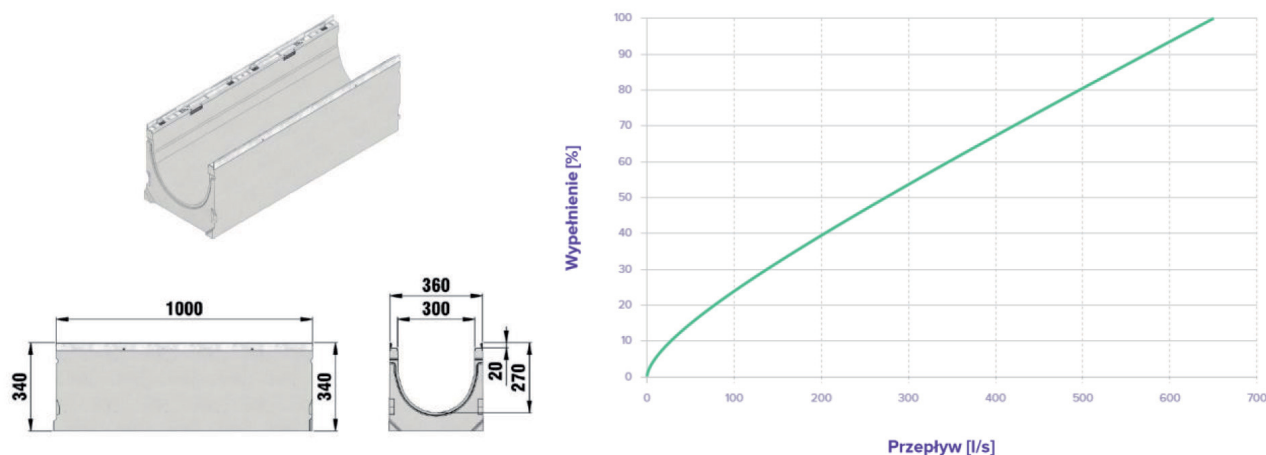
Rys. 6. Poglądowy schemat warstw dachu zielonego dobrane na platformie cyfrowej [10]

KALKULATORY ODWODNIEŃ LINIOWYCH I PRZEWODÓW GRAWITACYJNYCH

Na platformie cyfrowej [10] oprócz kalkulatorów dedykowanych ściśle retencji i rozsączaniu wód opadowych oraz roztopowych, znajdują się także narzędzia związane z wymiarowaniem elementów tranzytowych systemów odwodnienia. Z pozoru, cyfrowe narzędzia w tym klasycznym obszarze projektowania sieci kanalizacji deszczowej, wydają się mieć mniejsze uzasadnienie. Nie jest to jednak prawdą, a najlepszym dowodem na to jest kalkulator doboru odwodnień liniowych. Składa się on z dwóch komponentów:

- obliczenia maksymalnego dopływu wód opadowych i roztopowych
- obliczenia przepustowości hydraulicznej koryta.

Obliczenia maksymalnego dopływu wód opadowych są bardzo proste – stosuje się w tym celu model racjonalny oraz natężenia deszczów miarodajnych z Atlasu PANDa. Teoretycznie równie proste mogłyby być obliczenia przepustowości hydraulicznej koryt otwartych. Można byłoby je przeprowadzić z użyciem formuły Chezy’ego i Manninga na średnią prędkość przepływu, przyjmując dodatkowo spadek linii energii, równy spadkowi podłużnemu odwodnienia liniowego. I w tym miejscu pojawia się oczywisty problem, gdyż odwodnienia liniowe służą przede wszystkim odwodnieniu płaskich powierzchni (np. placów), nie są one zatem układane ze spadkiem podłużnym, a dodatkowo ze względów konstrukcyjnych spadków takich nie nadaje się samemu dnu poszczególnych sekcji koryt. Przepustowość poszczególnych typów koryt musi zatem zostać eksperymentalnie określona w laboratorium, a wyniki tych prac stanowią know-how producenta odwodnień liniowych (rys. 7).



Rys. 7. Dobrane przez kalkulator doboru odwodnień liniowych koryto oraz wykres jego przepustowości hydraulicznej [10]

Nie mniej korzyści można uzyskać, sięgając po cyfrowy kalkulator przewodów grawitacyjnych. Nie jest on bowiem tylko prostym połączeniem metody racjonalnej do obliczania spływu ze zlewni z kalkulatorem hydraulicznym do obliczania przepływu w pojedynczym kanale grawitacyjnym o przekroju kołowym (z użyciem klasycznych wzorów Darcy’ego, Colebrooka-White’a i Brettiga [15]). Kalkulator ten pozwala na obliczanie całych sieci kanalizacji deszczowej składających z dowolnej liczby odcinków. Obliczenia są prowadzone według metody maksymalnych natężeń, dyskutowanej szczegółowo przez Kotowskiego [12]. Metoda maksymalnych natężeń jest bardziej konserwatywna od metody granicznych natężeń, gdyż nie uwzględnia się w niej wydłużenia czasu trwania obliczeniowego deszczu miarodajnego o czas retencji kanałowej i spływu powierzchniowego, a przy tym jest podobnie wymagająca pod kątem numerycznym, gdyż obliczenia prędkości przepływu przez poszczególne sekcje kanałów muszą być prowadzone metodą kolejnych przybliżeń. Stosując metodę maksymalnych natężeń w powiązaniu z Atlasem PANDa uzyskuje się gwarancję bezpiecznego doboru kanałów o wymaganej zdolności tranzytowej. Co warto podkreślić, wpływające na czas przepływu modyfikacje wprowadzane w spadkach lub średnicach dobieranych rur, są automatycznie uwzględniane dla niżej położonych kanałów. Jednocześnie kalkulator ostrzega użytkownika o występowaniu zbyt długich odcinków kanałów, niespełnieniu warunków w zakresie spadków minimalnych i maksymalnych lub też zbyt płytkiego posadowienia rur z uwagi na głębokość przemarzania (rys. 8). Mając dostępne tej klasy narzędzie cyfrowe można całkowicie zaprzestać stosowania uproszczonej i mocno dyskusyjnej metody stałych natężeń nawet w przypadku opracowywania wstępnych koncepcji sieci kanalizacji deszczowej.

Schemat poglądowy odcinka rurociągu

Model opadowy: PANDa
 Przewodopobieralność: 20
 Minimalny czas trwania deszczu [min]: 10
 Ciepłota deszczu obliczeniowego: 5

Odcinki rurociągu

- Odcinek 1
- Odcinek 2
- Odcinek 3

Obliczenia:

Rodzaj terenu: Obciążony: Samochody osobowe
 Sposób wprowadzenia spadku odcinka: Obliczony automatycznie

Rzędna terenu początku H_{tp} [m n.p.m.]: 10712
 Rzędna terenu końca H_{tk} [m n.p.m.]: 106
 Rzędna dna kanału na początku H_{dp} [m n.p.m.]: 104.49
 Rzędna dna kanału na końcu H_{dk} [m n.p.m.]: 104.2
 Długość odcinka rurociągu L [m]: 60
 Zalecana max. długość odcinka rurociągu to 50 m
 Chropowatość bezwzględna [mm]: 0.01
 Powierzchnia zredukowana F_z [ha]: 1

Spadek odcinka rurociągu [%]: 4.83

Maksymalne napięcie obliczeniowe [%]: 75

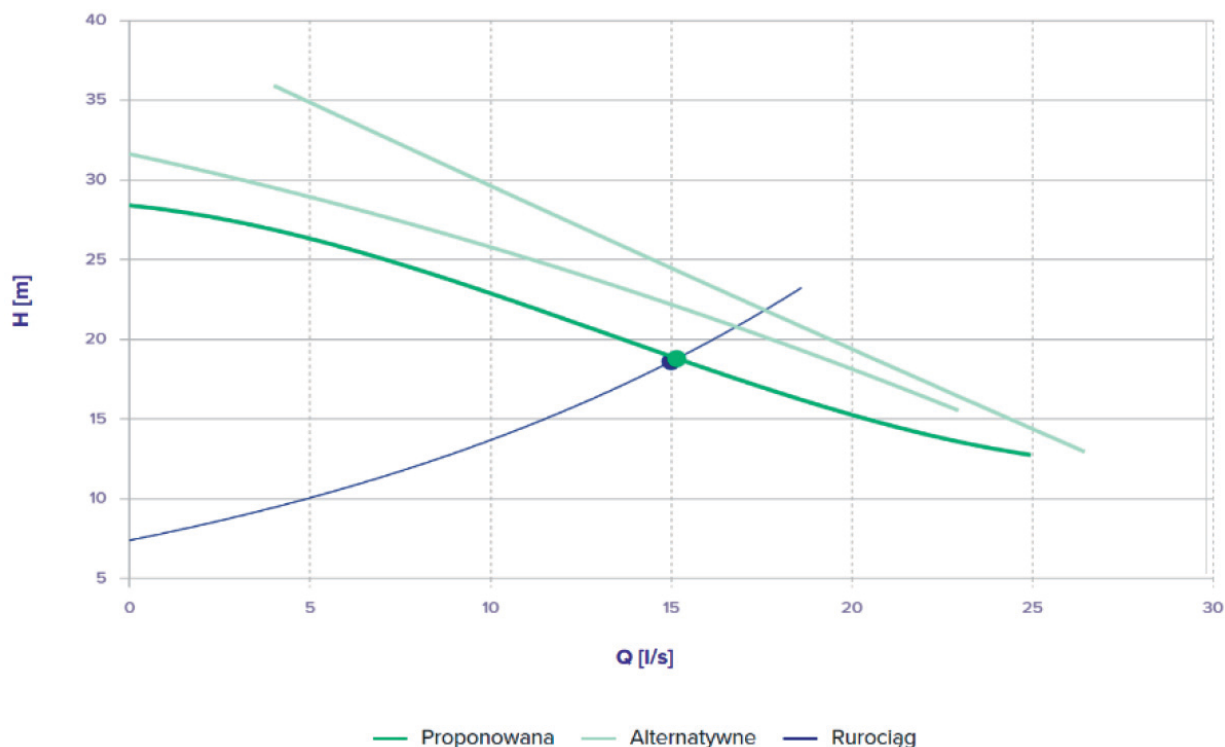
Powierzchnie zredukowane

Rodzaj powierzchni / zabudowy	Współczynnik spływu ψ	Powierzchnia [ha]	Powierzchnia [m ²]	Powierzchnia zredukowana F_z [ha]
Wprowadź	Wprowadź	Wprowadź	Wprowadź	0

Rys. 8. Definiowanie kolejnych przewodów grawitacyjnych w kalkulatorze na platformie cyfrowej [10]

KALKULATOR POMPOWNI

Zaimplementowany na platformie cyfrowej [10] kalkulator pompowni pozwala na dobór typowych konstrukcji małych pompowni (o dwóch zainstalowanych pompach z pracą naprzemienną), które mogą być stosowane dla ścieków sanitarnych oraz wód opadowych i roztopowych. Zaletą tego cyfrowego kalkulatora jest prostota definiowania elementów składowych rurociągu tłoczego i obliczania strat hydraulicznych (miejscowych i na długości). W efekcie możliwe jest sporządzenie charakterystyki rurociągu tłoczego i jej przecięcie z charakterystykami dostępnych pomp (rys. 9), a w rezultacie wskazanie optymalnego typu pompowni.



Rys. 9. Przykładowe przecięcie charakterystyk pracy pomp oraz rurociągu tłocznego w kalkulatorze doboru pompowni na platformie cyfrowej [10]

PODSUMOWANIE

Dzięki Atlasowi PANDa oraz wspomnianej platformie projektowanie poszczególnych elementów systemów odwodnienia może już teraz odbywać się w pełni cyfrowo. Upraszcza to i skraca nie tylko pracę projektanta, ale także eliminuje możliwość powstawania wielu błędów w zakresie obliczeń i doboru konkretnych rozwiązań materiałowych. Cyfrowe kalkulatory platformy są także skutecznym sposobem na modernizację całego warsztatu projektowania systemów odwodnienia w Polsce, gdyż wypierają przestarzałe i niewiarygodne już współcześnie modele opadów miarodajnych i algorytmy obliczeniowe.

prof. dr hab. inż. Paweł Licznar
Politechnika Wrocławska, Wydział Inżynierii Środowiska

NORMY I ROZPORZĄDZENIA

- N1. Ustawa Prawo Wodne z dnia 20 lipca 2017 r., tekst jedn. Dz.U. z 2020 r., poz. 310, z późniejszymi zmianami.
- N2. PN-EN 752: 2017 Drain and sewer systems outside buildings – Sewer system management. Zewnętrzne systemy odwadniające i kanalizacyjne – Zarządzanie systemem kanalizacyjnym, PKN, Warszawa.

LITERATURA

1. Sprawozdania z wykonania KPOŚK
(<https://wody.gov.pl/nasze-dzialania/krajowy-program-oczyszczania-sciekow-komunalnych>).
2. Benchmarking 2018, Wyniki przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych w Polsce za 2017 rok, IGWP, Bydgoszcz, 2018.
3. Błaszczyk W., Spływy deszczowe w sieci kanalizacyjnej (wytyczne do normatywu), Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 9, 1954, str. 262-271.
4. Bogdanowicz E., Stachy J., Maksymalne opady deszczu w Polsce – charakterystyki projektowe, Materiały Badawcze IMGW, Seria Hydrologia i Oceanologia, nr 23, 1998.
5. Licznar P., Siekanowicz-Grochowina K., Oktawiec M., Kotowski A., Burszta-Adamiak E., Empiryczna

weryfikacja formuły Błaszczyka do obliczania wartości natężenia deszczu miarodajnego, Ochrona Środowiska, 40 (2), 2018a, str. 17-22.

6. Licznar P., Burszta-Adamiak E., Kotowski A., Siekanowicz-Grochowina K., Oktawiec M., Empiryczna weryfikacja modelu Bogdanowicz-Stachý do obliczania wartości natężenia deszczu miarodajnego, Ochrona Środowiska, 40 (3), 2018b, str. 21-28.

7. Metodyka opracowania Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDa), red. Licznara P. i Zaleskiego J., Seria publikacji naukowo-badawczych IMGW-PIB, Warszawa, 2020, (<https://www.imgw.pl/sites/default/files/2020-06/metodyka-opracowania-polskiego-atlasu-natezenia-deszczow-panda.pdf>).

8. portal.atlaspanda.pl

9. Schmitt T.G., Komentarz do ATV-A118P. Hydrauliczne wymiarowanie systemów odwadniających, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa, 2007.

10. www.waterfolder.com

11. Arbeitsblatt DWA-A 117, Bemessung von Regenrückhalteräumen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, 2014.

12. Kotowski A., Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów. Tom I. Sieci kanalizacyjne, Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa, 2015.

13. Arbeitsblatt DWA-A 138, Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, 2005.

14. Wytyczne dla dachów zielonych. Wytyczne do projektowania, wykonywania i utrzymywania dachów zielonych, DAFA, DZ 1.02, 2021.

15. Łomotowski J., Szpindor A., Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków, Arkady, 2002.

Artykuł zamieszczony w [Przewodniku Projektanta wyd. 1/2021](#)

Zamów kolejne wydanie publikacji, zawierającej zagadnienia m.in. dot. inwestycji budowlanych w obiektach zabytkowych, stalowych hal parterowych, żywicznych posadzek w przemyśle spożywczym, a także projektowania instalacji wodociągowych i fotowoltaiki.

Formularz dostępny na stronie <https://www.izbudujemy.pl/formularze/przewodnikprojektanta/>

