

Sabina KORDANA¹
Daniel SŁYŚ²

ANALIZA KOSZTÓW CYKLU ŻYCIA SKRZYNEK ROZSĄCZAJĄCYCH

Zmiana sposobu zagospodarowania zlewni miejskich i związany z tym wzrost stopnia uszczelnienia powierzchni skutkują zaburzeniem naturalnego cyklu obiegu wody w przyrodzie. W przypadku tradycyjnego kanalizowania wód deszczowych może to prowadzić do szeregu niekorzystnych zjawisk, co powoduje potrzebę zrównoważonego podejścia do projektowania systemów kanalizacyjnych i stosowania systemów przeznaczonych do retencji oraz infiltracji wód opadowych do gruntu. Wybór odpowiedniego rozwiązania determinowany jest między innymi wysokością nakładów inwestycyjnych oraz kosztów eksploatacyjnych danego systemu odwodnieniowego, które mogą zostać oszacowane za pomocą narzędzia, jakim jest analiza Life Cycle Cost. W niniejszym artykule scharakteryzowano koszty występujące w całym cyklu życia skrzynek rozsączających, będących urządzeniem przeznaczonym do podziemnej infiltracji wód deszczowych. Przedstawiono także model matematyczny umożliwiający wyznaczenie całkowitej wysokości tych kosztów.

Słowa kluczowe: analiza LCC, odwodnienie, urządzenia infiltracyjne, skrzynki rozsączające

1. Wprowadzenie

Przyrost powierzchni terenów utwardzonych, ograniczenie ilości wody opadowej wchłanianej przez grunt i zasilającej zasoby wód podziemnych, jak również wzrost ilości ścieków deszczowych dopływających do wód powierzchniowych w trakcie trwania intensywnych opadów deszczu, prowadzą do powstawania szeregu niekorzystnych zjawisk. Zjawiska te mogą zostać zaobserwowane zarówno na odwadnianym terenie, jak i w odbiorniku ścieków, dla-

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Sabina Kordana, Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Katedra Infrastruktury i Ekorozwoju, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. +48 17 8651071, e-mail: sk@prz.edu.pl

² Daniel Słyś, Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Katedra Infrastruktury i Ekorozwoju, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. +48 17 8651784, e-mail: daniels@prz.edu.pl

tego wybór odpowiedniego systemu zagospodarowania wód opadowych posiada kluczowy wpływ na możliwość ograniczenia ich negatywnego oddziaływania na środowisko i infrastrukturę miejską. Z tego względu przed projektantami systemów przeznaczonych do ujmowania oraz odprowadzania wód opadowych stoi poważne wyzwanie, gdyż pośrednio to na nich ciąży odpowiedzialność za jakość życia przyszłych pokoleń.

Zrównoważone podejście do projektowania systemów odwodnieniowych wymaga uwzględnienia szeregu czynników [11], które często są minimalizowane, a niekiedy całkowicie pomijane. Są to przede wszystkim: jakość wód opadowych [1], warunki lokalne i bezpieczeństwo eksploatacji [17], charakterystyka hydrauliczna systemu [3] oraz jego wpływ na środowisko [23], jak również uwarunkowania prawne [12]. Nie bez znaczenia pozostają także aspekty krajobrazowe [14] oraz społeczne [5]. W warunkach polskich duża uwaga zwracana jest także na wysokość nakładów inwestycyjnych oraz kosztów eksploatacyjnych systemu odwodnieniowego.

Całkowite koszty ponoszone na budowę, eksploatację oraz konserwację systemów odwodnieniowych mogą zostać wyznaczone przy pomocy narzędzia, jakim jest analiza *Life Cycle Cost (LCC)*. W dziedzinie zarządzania wodami opadowymi metodologia LCC znajduje obecnie zastosowanie głównie w procesie projektowania systemów gospodarczego wykorzystania wód deszczowych [8,20]. Znaleźć można też przykłady jej zastosowania do oceny kosztów cyklu życia dachów zielonych [9,15]. W przypadku obiektów służących do retencji i infiltracji wód deszczowych, które lokalizowane są na sieciach kanalizacyjnych, nie zostały dotychczas opracowane modele, których implementacja umożliwiłaby wybór najkorzystniejszego pod względem finansowym rozwiązania, a samo wykorzystanie metodologii *LCC* wciąż należy tu do rzadkości [10,24]. W Polsce wybór urządzenia, w którym realizowany będzie proces wsiąkania wód opadowych do gruntu, nie jest natomiast poprzedzany szczegółową analizą kosztów całego cyklu życia poszczególnych rozwiązań, co może doprowadzić do szeregu problemów na etapie eksploatacji systemu odwodnieniowego. W odpowiedzi na tę kwestię, autorzy niniejszego artykułu scharakteryzowali koszty związane z wykonaniem i użytkowaniem wybranego systemu infiltracyjnego.

2. Charakterystyka metody *Life Cycle Cost*

Analiza *Life Cycle Cost*, której etapy przedstawiono na rysunku 1, jest metodologią umożliwiającą ocenę całkowitych kosztów cyklu życia danego systemu bądź urządzenia. Na wartość wskaźnika *LCC*, którą dla danego wariantu inwestycyjnego wyznaczyć można z zależności (1), składają się zarówno nakłady inwestycyjne poniesione na zakup i montaż systemu, jak i koszty eksploatacyjne przewidywane w całym okresie jego użytkowania. Przepływy pieniężne występujące w kolejnych latach poddawane są tu dyskontowaniu, co pozwala na ze-

stawienie wielkości pojawiających się w różnych okresach czasu, a wartość *LCC* obliczana jest dla konkretnego czasu eksploatacji systemu.

$$LCC = K_I + \sum_{t=1}^n \frac{K_{Et}}{(1+r)^t} \quad (1)$$

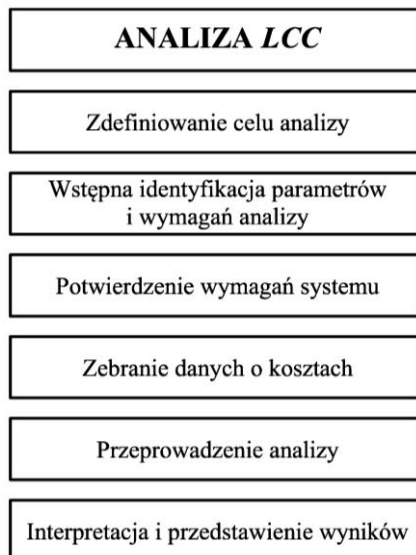
gdzie: *LCC* – wartość wskaźnika *LCC*, PLN,

K_I – nakłady inwestycyjne, PLN,

K_{Et} – koszty eksploatacyjne występujące w roku t , PLN,

r – stopa dyskontowa, -,

n – okres eksploatacji systemu, lata.



Rys. 1. Etapy analizy *Life Cycle Cost* (na podstawie: [4])

Fig. 1. The stages of Life cycle cost analysis (based on: [4])

Wartość wskaźnika *LCC* może zostać wyznaczona także na podstawie zależności (2), zgodnie z którą na całkowite koszty cyklu życia danego projektu inwestycyjnego składają się koszty nabycia, eksploatacji oraz likwidacji systemu [7]. Określenie udziału poszczególnych składowych w całkowitych kosztach przedsięwzięcia jest bardzo istotne zarówno z punktu widzenia inwestora, jak i eksploatatora systemu poddawanego analizie. Wynika to głównie z faktu, iż koszty eksploatacyjne przewyższają często nakłady ponoszone na implementację systemu [6], a możliwość wpływu na zmianę ich wysokości jest znikoma w porównaniu do początkowych nakładów inwestycyjnych. Warto również pod-

kreślić, iż wykonanie analizy *LCC* ułatwia porównanie różnych projektów inwestycyjnych pod względem ich kapitałochłonności, głównie poprzez wyznaczenie różnicy ΔLCC , oraz umożliwia wybór rozwiązania, którego realizacja wymaga poniesienia najniższych kosztów w całym cyklu życia inwestycji.

$$LCC = K_N + K_E + K_L \quad (2)$$

gdzie: K_N – koszty nabycia, PLN,
 K_E – koszty eksploatacji, PLN,
 K_L – koszty likwidacji, PLN.

W wielu krajach świata wykorzystanie metody *LCC* do oceny nowych projektów inwestycyjnych jest już powszechne, a w niektórych przypadkach nawet wymagane stosownymi regulacjami prawnymi [22]. Również w Polsce wykorzystywana jest ona coraz częściej, a szczegółowe zalecenia dotyczące jej stosowania znaleźć można między innymi w normie PN-EN 60300-3-3:2006P [16].

3. Etapy analizy *LCC* urządzeń infiltracyjnych

Zgodnie z zaleceniami zawartymi w pracy [4] pierwszym etapem analizy *Life Cycle Cost* jest zdefiniowanie jej celu, który determinuje zakres kolejnych etapów. Celem tym może być zarówno określenie kosztów cyklu życia konkretnego przedsięwzięcia, jak i wybór rozwiązania charakteryzującego się najniższą wartością wskaźnika *LCC*. W tym drugim przypadku w badaniach należy uwzględnić preferencje wszystkich potencjalnych interesariuszy oraz opinie specjalistów w dziedzinie zarządzania wodami opadowymi i poddać analizie te rozwiązania, które zostały zaakceptowane przez każdego z nich.

Uwzględniając wszystkie istotne kryteria należy zdefiniować wstępne ramy analizy *Life Cycle Cost*. Istotne jest, aby już na tym etapie badań rozpoznać zakres wymaganej analizy wpływu rozpatrywanych rozwiązań na środowisko oraz jej związku z *LCC* [4]. Dodatkowo konieczne jest określenie czasu eksploatacji systemu zagospodarowania wód deszczowych, który warunkowany jest przede wszystkim trwałością poszczególnych elementów systemu oraz możliwością jego czyszczenia i konserwacji, jak również wybór metod analizy ekonomicznej. Na tym etapie badań należy także zidentyfikować ewentualną potrzebę przeprowadzenia analizy ryzyka oraz wrażliwości zastosowania poszczególnych rozwiązań [4].

W następnej kolejności należy potwierdzić wszystkie warunki realizacji projektu, jak również ostatecznie zdefiniować listę opcji decyzyjnych, które będą uwzględniane w analizie *LCC* [4]. Wśród opcji tych powinny się znaleźć wyłącznie te, których zastosowanie jest technicznie uzasadnione w danych warunkach. Z tego względu należy wziąć pod uwagę takie czynniki, jak wielkość odwadnianego terenu i sposób jego zagospodarowania, położenie zwierciadła wód

gruntowych oraz rodzaj gruntu, w którym wykonane zostanie urządzenie infiltracyjne wód deszczowych [17,21]. Dodatkowo uwzględniona powinna zostać także powierzchnia terenu dostępnego pod zabudowę systemu oraz wysokość opadu [13], która determinuje wielkość natężenia dopływu wód opadowych do urządzenia [2], a w konsekwencji także jego wymaganą pojemność [18]. Po zdefiniowaniu wszystkich opcji decyzyjnych poddawanych analizie należy natomiast zidentyfikować koszty występujące na poszczególnych etapach cyklu życia badanych systemów infiltracyjnych.

Kolejnym etapem analizy *LCC* urządzeń infiltracyjnych jest gromadzenie danych o kosztach występujących na etapie planowania, projektowania, wykonania, eksploatacji i ewentualnej likwidacji rozpatrywanych systemów. Koszty te zależą głównie od rodzaju urządzenia, w którym zachodzi proces wsiąkania wód opadowych do gruntu i trwałości jego komponentów, lokalizacji systemu oraz wymagań projektowych. Nie bez znaczenia pozostają również wartości wskaźników ekonomicznych przyjmowanych w analizie *Life Cycle Cost*, w oparciu, o które można wyznaczyć i porównać przepływy pieniężne występujące w kolejnych latach eksploatacji systemu.

Po zweryfikowaniu poprawności wszystkich danych przyjętych do obliczeń należy przeprowadzić analizę *LCC* rozpatrywanych urządzeń infiltracyjnych, a jeśli istnieje taka potrzeba – także szczegółową analizę wrażliwości inwestycji, która powinna uwzględniać wpływ zmian wartości takich parametrów, jak: stopa dyskontowa, jednostkowe koszty eksploatacyjne systemu, długość okresu analizy czy częstość zabiegów konserwacyjnych systemu rozsączającego, na otrzymywaną wartość wskaźnika *LCC*.

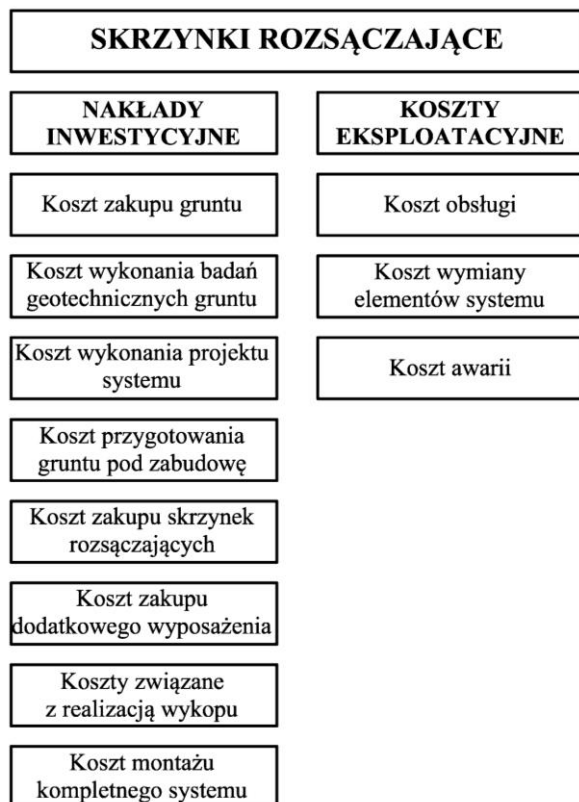
Ostatnim etapem badań jest natomiast interpretacja otrzymanych wyników obliczeń oraz ich przedstawienie w wymaganej formie, a także przygotowanie raportu końcowego [4].

4. Koszty cyklu życia skrzynek rozsączających

Wysokość nakładów inwestycyjnych oraz kosztów eksploatacyjnych systemu infiltracyjnego wód deszczowych determinowana jest głównie sposobem realizacji tego procesu. Skrzynki rozsączające są urządzeniami przeznaczonymi do podziemnej infiltracji wód opadowych do gruntu, a niekiedy także ich retencji. Zbudowane są najczęściej z polipropylenowych płyt kratownicowych, a ich niewątpliwą zaletą jest modułowa budowa, dzięki której istnieje możliwość tworzenia obiektów o dowolnych rozmiarach oraz dostosowywania ich układu przestrzennego do panujących warunków lokalnych [19].

Koszt zakupu samych skrzynek rozsączających oraz ich dostawy stanowi jednak tylko jeden z elementów, które należy wziąć pod uwagę przy ocenie kosztów cyklu życia całego układu rozsączającego, bowiem na wartość wskaźnika *LCC*, wyznaczonego na podstawie zależności (1), wpływ posiada także sze-

reg dodatkowych czynników, najważniejsze spośród których przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Koszty występujące w całym cyklu życia układu rozsączającego

Fig. 2. Life cycle costs of infiltration boxes

Całkowita wysokość nakładów inwestycyjnych koniecznych do poniesienia w związku z implementacją systemu infiltracyjnego zbudowanego ze skrzynek rozsączających może zostać wyznaczona na podstawie zależności (3).

$$K_I = K_G + K_{BG} + K_P + K_{SR} + K_{DW} + K_{PT} + K_W + K_M + K_D \quad (3)$$

gdzie: K_G – koszt zakupu gruntu pod zabudowę systemu, PLN,
 K_{BG} – koszt wykonania badań geotechnicznych gruntu, PLN,
 K_P – koszt wykonania projektu systemu, PLN,
 K_{SR} – koszt zakupu skrzynek rozsączających, PLN,
 K_{DW} – koszt zakupu dodatkowego wyposażenia systemu, PLN,
 K_{PT} – koszt przygotowania terenu pod zabudowę systemu, PLN,

K_W – koszty związane z realizacją wykopu, PLN,
 K_M – koszt montażu systemu rozsączającego, PLN,
 K_D – koszty dodatkowe, PLN.

Do kosztów determinujących wysokość nakładów inwestycyjnych należy koszt zakupu gruntu pod zabudowę układu rozsączającego K_G , którego wysokość uzależniona jest od powierzchni gruntu oraz jego ceny jednostkowej. Koszt ten wyznaczyć można w oparciu o wzór (4).

$$K_G = C_{jG} \cdot l_G \cdot b_G \cdot 10^{-2} \quad (4)$$

gdzie: C_{jG} – cena jednostkowa zakupu terenu pod zabudowę systemu, PLN/a,
 l_G – długość działki, na której zlokalizowany zostanie system, m,
 b_G – szerokość działki, na której zlokalizowany zostanie system, m.

Pod uwagę powinno się wziąć również koszty wykonania badań geotechnicznych gruntu K_{BG} , których wysokość uzależniona jest od liczby pobranych próbek gruntu i opisana została zależnością (5). Wyniki tych badań warunkują możliwość zastosowania analizowanego rozwiązania w danych warunkach, a w dalszej kolejności determinują także wymaganą pojemność układu, co z kolei wpływa na wysokość pozostałych składowych kosztów cyklu życia układu rozsączającego.

$$K_{BG} = C_{jBG} \cdot m_{BG} \quad (5)$$

gdzie: C_{jBG} – cena jednostkowa wykonania jednego odwiertu, PLN/szt,
 m_{BG} – wymagana liczba odwiertów, szt.

Po zweryfikowaniu i ocenie wyników przeprowadzonych badań należy zlecić wykonanie projektu kompletnego systemu rozsączającego, co wiąże się z poniesieniem kosztów K_P . W oparciu o dane zawarte w projekcie określić można koszt zakupu skrzynek rozsączających K_{SR} , który dla układu prostopadłościennego opisany został wzorem (6), oraz koszt zakupu dodatkowego wyposażenia systemu K_{DW} , którego wysokość scharakteryzowano za pomocą zależności (7).

$$K_{SR} = C_{jSR} \cdot n_l \cdot n_b \cdot n_h \quad (6)$$

gdzie: C_{jSR} – cena pojedynczej skrzynki rozsączającej, PLN/szt,
 n_l – liczba skrzynek rozsączających na długości układu, szt,
 n_b – liczba skrzynek rozsączających na szerokości układu, szt,
 n_h – liczba warstw skrzynek rozsączających w pionie, szt.

$$K_{DW} = K_{EL} + K_{RW} + K_{GE} + K_Z + K_R \quad (7)$$

gdzie: K_{EL} – koszt zakupu elementów łączących skrzynki, PLN,
 K_{RW} – koszt zakupu rur wywiewnych, PLN,
 K_{GE} – koszt zakupu geowłókniny, PLN,
 K_Z – koszt zakupu materiału filtracyjnego, PLN,
 K_R – koszt zakupu kompletnych studzienek rewizyjnych, PLN.

Jak wynika z zależności (7), wysokość kosztów K_{DW} determinowana jest głównie koniecznością zakupu takich komponentów systemu infiltracyjnego, jak: elementy łączące poszczególne skrzynki rozsączające, rury wywiewne, geowłóknina, mającą za zadanie zabezpieczenie ścian układu rozsączającego, jak również żwir bądź inny materiał, z którego wykonana zostanie warstwa filtracyjna. W przypadku większych systemów konieczne może się okazać także zamontowanie studzienek rewizyjnych, za pomocą których istnieje możliwość sprawdzenia stanu konstrukcji na etapie eksploatacji systemu. Wysokości tych składowych kosztów warunkowane są przede wszystkim wielkością systemu i dla układu prostopadłościennego można je wyznaczyć z wzorów (8-12).

$$K_{EL} = C_{jEL1} \cdot m_{EL1} \cdot [(n_b - 1) \cdot n_l + (n_l - 1) \cdot n_b] \cdot n_h + C_{jEL2} \cdot m_{EL2} \cdot (n_h - 1) \cdot n_b \cdot n_l \quad (8)$$

gdzie: C_{jEL1} – cena elementu łączącego skrzynki w poziomie, PLN/szt,
 m_{EL1} – liczba elementów łączących dwie skrzynki w poziomie, szt,
 C_{jEL2} – cena elementu łączącego skrzynki w pionie, PLN/szt,
 m_{EL2} – liczba elementów łączących dwie skrzynki w pionie, szt.

$$K_{RW} = C_{jRW} \cdot m_{RW} \quad (9)$$

gdzie: C_{jRW} – cena pojedynczej rury wywiewnej o danej średnicy, PLN/szt,
 m_{RW} – wymagana liczba rur wywiewnych, szt.

$$K_{GE} = C_{jGE} \cdot m_{GE} \quad (10)$$

gdzie: C_{jGE} – cena arkusza geowłókniny o danych wymiarach, PLN/szt,
 m_{GE} – wymagana liczba arkuszy geowłókniny o danych wymiarach, szt.

$$K_Z = C_{jZ} \cdot [(n_b \cdot b_{SR} + 2 \cdot a) \cdot (n_l \cdot l_{SR} + 2 \cdot a) \cdot (n_h \cdot h_{SR} + h_2 + h_3) + (n_b \cdot b_{SR} \cdot n_l \cdot l_{SR} \cdot n_h \cdot h_{SR})] \quad (11)$$

gdzie: C_{jZ} – cena jednostkowa materiału filtracyjnego, PLN/m³,

n_b – liczba skrzynek na szerokości układu rozsączającego, szt,
 n_l – liczba skrzynek na długości układu rozsączającego, szt,
 n_h – liczba warstw skrzynek rozsączających w pionie, szt,
 a – szerokość pasa materiału filtracyjnego wokół skrzynek, m,
 h_2 – wysokość podsypki pod skrzynkami rozsączającymi, m,
 h_3 – wysokość warstwy filtracyjnej nad skrzynkami rozsączającymi, m.

$$K_R = C_{jR} \cdot m_R \quad (12)$$

gdzie: C_{jR} – cena studzienki rewizyjnej montowanej na skrzynkach, PLN/szt,
 m_{RW} – wymagana liczba studzienek rewizyjnych, szt.

Kolejną grupę kosztów, które należy uwzględnić w celu wyznaczenia łącznej wysokości nakładów inwestycyjnych koniecznych do poniesienia na budowę układu rozsączającego, stanowią koszty przygotowania terenu K_{PT} , które obejmują między innymi usunięcie zbędnej roślinności z obszaru budowy.

W dalszej kolejności należy uwzględnić koszty związane z realizacją wykopu K_W , na które zgodnie z zależnością (13) składają się koszty wydobycia gruntu, zabezpieczenia ścian wykopu oraz jego zasypania odpowiednim materiałem. Dla wykopu prostopadłościennego mogą one zostać wyznaczone na podstawie wzorów (14-19), a ich wysokość determinowana jest przede wszystkim wielkością systemu, jego zagłębieniem względem poziomu terenu oraz klasą gruntu.

$$K_W = K_{WW} + K_{WP} + K_{WO} + K_{WZ} + K_{Wzab1} + K_{Wzab2} \quad (13)$$

gdzie: K_{WW} – koszt wydobycia gruntu, PLN,
 K_{WP} – koszt wykonania podsypki, PLN,
 K_{WO} – koszt wykonania obsypki, PLN,
 K_{WZ} – koszt wykonania zasypania z gruntu rodzimego, PLN,
 K_{Wzab1} – koszt zabezpieczenia ścian wykopu, PLN,
 K_{Wzab2} – koszt wyciągnięcia elementów zabezpieczających ściany wykopu, PLN.

$$K_{WW} = C_{jWW} \cdot (n_b \cdot b_{SR} + 2 \cdot a) \cdot (n_l \cdot l_{SR} + 2 \cdot a) \cdot (n_h \cdot h_{SR} + h_1 + h_2) \quad (14)$$

gdzie: C_{jWW} – cena jednostkowa wydobycia i wywozu gruntu o danej klasie, PLN/m³,
 h_1 – odległość od poziomu terenu do sklepienia skrzynek, m.

$$K_{WP} = C_{jWP} \cdot (n_b \cdot b_{SR} + 2 \cdot a) \cdot (n_l \cdot l_{SR} + 2 \cdot a) \cdot h_2 \quad (15)$$

gdzie: C_{jWP} – cena jednostkowa wykonania podsypki pod skrzynki rozsączające o odpowiednim stopniu zagęszczenia, PLN/m³.

$$K_{WO} = C_{jWO} \cdot [(n_b \cdot b_{SR} + 2 \cdot a) \cdot (n_l \cdot l_{SR} + 2 \cdot a) \cdot (n_h \cdot h_{SR} + h_3) + (n_b \cdot b_{SR} \cdot n_l \cdot l_{SR} \cdot n_h \cdot h_{SR})] \quad (16)$$

gdzie: C_{jWO} – cena jednostkowa wykonania obsypki wokół skrzynek rozsączających o odpowiednim stopniu zagęszczenia, PLN/m³.

$$K_{WZ} = C_{jWZ} \cdot (n_b \cdot b_{SR} + 2 \cdot a) \cdot (n_l \cdot l_{SR} + 2 \cdot a) \cdot (h_1 - h_3) \quad (17)$$

gdzie: C_{jWZ} – cena jednostkowa wykonania zasypki z gruntu rodzimego o odpowiednim stopniu zagęszczenia, PLN/m³.

$$K_{Wzabl} = C_{jWzabl} \cdot (2 \cdot n_b \cdot b_{SR} + 2 \cdot n_l \cdot l_{SR} + 8 \cdot a) \cdot (h_1 + n_h \cdot h_{SR} + h_2 + h_4) \quad (18)$$

gdzie: C_{jWzabl} – cena jednostkowa wykonania zabezpieczenia ścian wykopu, PLN/m².

$$K_{Wzab2} = C_{jWzab2} \cdot (2 \cdot n_b \cdot b_{SR} + 2 \cdot n_l \cdot l_{SR} + 8 \cdot a) \cdot (h_1 + n_h \cdot h_{SR} + h_2 + h_4) \quad (19)$$

gdzie: C_{jWzab2} – cena jednostkowa wyciągania elementów zabezpieczających ściany wykopu, PLN/m².

Do nakładów inwestycyjnych należy w tym przypadku zaliczyć także koszty montażu kompletnego systemu rozsączającego, to jest geowłókniny, skrzynek rozsączających, rur wywiewnych oraz studzienek rewizyjnych, K_M . Niekiedy istnieje także potrzeba uwzględnienia dodatkowych nakładów inwestycyjnych K_D . Przykładowo podczas intensywnych opadów deszczu może być konieczne odpompowanie wody z wykopu. Z uwagi na to, iż minimalna zalecana odległość dna układu skrzynek rozsączających od poziomu wód gruntowych wynosi 1,0 m [18], nie ma potrzeby uwzględniania stałego odwodnienia wykopu jako czynnika mającego wpływ na łączne koszty budowy systemu.

Wysokość kosztów eksploatacyjnych układu rozsączającego K_E , opisana za pomocą równania (20), determinowana jest głównie kosztami obsługi systemu, K_O , wynikającymi z potrzeby wykonywania okresowego przeglądu technicznego. Producenci urządzeń tego typu zalecają, aby pierwszy taki przegląd wykonać bezpośrednio po montażu systemu, natomiast kolejne sukcesywnie w ciągu całego okresu jego eksploatacji. Inspekcje skrzynek rozsączających realizuje się przy pomocy zdalnie sterowanych kamer, a w przypadku zaobserwowania zawiesin i innych cząstek osadzonych w warstwie geowłókniny należy je usunąć przy pomocy płuczek ciśnieniowych. Częstotliwość inspekcji uzależnio-

na jest między innymi od lokalizacji systemu rozsączającego, jak również częstotliwości oraz czasu trwania opadów deszczu, i powinna być dla każdego przypadku określana indywidualnie.

$$K_E = K_O + K_{WE} + K_A \quad (20)$$

gdzie: K_O – koszt obsługi systemu rozsączającego, PLN,
 K_{WE} – koszt wymiany zużytych elementów systemu, PLN,
 K_A – koszt awarii, PLN.

Do kosztów eksploatacyjnych układu rozsączającego zalicza się także ewentualne koszty wymiany zużytych elementów systemu K_{WE} . Duży wpływ na całkowitą wartość kosztów cyklu życia urządzenia technicznego mogą wywrzeć ponadto koszty awarii systemu K_A , będące najtrudniejszą do oszacowania na etapie planowania inwestycji składową bilansu kosztów.

5. Podsumowanie

W wielu krajach świata, w tym państwach należących do Unii Europejskiej, duży nacisk kładziony jest obecnie na kwestie związane z ochroną środowiska przyrodniczego. Zagadnienia te łączą się bezpośrednio z problemem ilościowej i jakościowej ochrony zasobów wodnych, a to z kolei przekłada się na wyzwania, przed którymi stawiane są osoby odpowiedzialne za zarządzanie wodami opadowymi. Częściowe sprostanie tym wymaganiom możliwe jest dzięki wykorzystaniu systemów do retencji i infiltracji wód opadowych.

Wskazanie najkorzystniejszej metody zagospodarowania wód opadowych powstających w zlewniach zurbanizowanych powinno być jednak każdorazowo poprzedzone szczegółową analizą techniczno-ekonomiczną możliwych do zastosowania wariantów inwestycyjnych. Narzędziem, które może w takiej sytuacji posłużyć za wskazówkę w wyborze optymalnego rozwiązania, jest analiza *Life Cycle Cost*, której zastosowanie pozwala na wyznaczenie kosztów występujących w całym cyklu życia systemu odwodnieniowego.

W niniejszym artykule opisano koszty charakteryzujące skrzynki rozsączające, będące urządzeniem przeznaczonym do podziemnej infiltracji wód opadowych do gruntu. Z przedstawionych zależności jasno wynika, iż w całym cyklu życia tego systemu występuje szereg kosztów, których znaczenie na etapie planowania inwestycji jest minimalizowane, a niekiedy całkowicie pomijane. Należy jednak pamiętać, iż w niektórych przypadkach wybrane składowe kosztów mogą nie występować. Przykładowo teren w momencie jego zakupu może posiadać pełną dokumentację geotechniczną, jak również może być już na tym etapie przygotowany pod zabudowę systemu. Z tego względu każdorazowo przed przystąpieniem do analizy *LCC* należy zbadać indywidualne warunki prowadzenia inwestycji.

Literatura

- [1] Barbosa A.E., Fernandes J.N., David L.M.: Key issues for sustainable urban stormwater management, *Water Research*, vol. 46, 2012, s. 6787-6798.
- [2] Błaszczyk W., Stamatello H., Błaszczyk P.: *Kanalizacja*, t.1, Sieci i pompownie, Arkady, Warszawa 1983.
- [3] Burger G., Sitzenfrei R., Kleidorfer M., Rauch W.: Parallel flow routing in SWMM 5, *Environmental Modelling & Software*, vol. 53, 2014, s. 27-34.
- [4] Davis Langdon Management Consulting: Life Cycle Costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology, Final Methodology, 2007. http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/studies/life-cycle-costing_en.htm.
- [5] Domènech L., Saurí D.: A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multifamily buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs, *Journal of Cleaner Production*, vol. 19, 2011, s. 598-608.
- [6] El-Haram M.A., Horner M.W.: Application of the principles of ILS to the development of cost effective maintenance strategies for existing building stock, *Construction Management and Economics*, vol. 21, 2003, s. 283-296.
- [7] Ellis B.A.: Life Cycle Cost, International Conference of Maintenance Societies, 2007.
- [8] Farreny R., Gabarrell X., Rieradevall J.: Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods, *Resources, Conservation and Management*, vol. 55, 2011, s. 686-694.
- [9] Hong T.H., Kim J.M., Koo C.W.: LCC and LCCO₂ analysis of green roofs in elementary schools with energy saving measures, *Energy and Buildings*, vol. 45, 2012, s. 229-239.
- [10] King D., Hagan P.: Costs of Stormwater Management Practices In Maryland Counties, Draft Final Report, Ref. No. [UMCES] CBL 11-043, Maryland Department of the Environment Science Services Administration, 2011.
- [11] Kordana S., Słyś D.: Application of decision support techniques in the process of designing sustainable drainage system, IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna INFRAEKO 2014 "Nowoczesne miasta. Infrastruktura i środowisko", Rzeszów – Kraków 2014, s. 129-140.
- [12] Kordana S., Słyś D.: Review of law regulations on the subject of rainwater management in Poland, Conference "Urban Water 2013", Velké Bilovice 2013, s. 205-210.
- [13] Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej: Klimat w Polsce oraz analiza programów działań pod kątem zmian klimatu do 2015 r., Załącznik 4. do „Programu wodno-środowiskowego kraju”, Warszawa 2010.
- [14] Li C.: Ecohydrology and good urban design for urban storm water-logging in Beijing, China, *Ecohydrology & Hydrobiology*, vol. 12, 2012, s. 287-300.
- [15] Peri G., Traverso M., Finkbeiner M., Rizzo G.: The cost of green roofs disposal in a life cycle perspective: Covering the gap, *Energy*, vol. 48, 2012, s. 406-414.

- [16] PN-EN 60300-3-3:2006P: Zarządzanie niezawodnością – Część 3-3: Przewodnik zastosowań – Szacowanie kosztu cyklu życia.
- [17] Słyś D.: Zrównoważone systemy odwodnienia miast, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2013.
- [18] Słyś D.: Retencja i infiltracja wód deszczowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008.
- [19] Słyś D., Stec A.: Odprowadzanie wód opadowych do gruntu z wykorzystaniem skrzynek rozsączających, Instal, nr 7/8, 2008, s. 23-26.
- [20] Słyś D., Stec A., Zeleňáková M.: A LCC Analysis of Rainwater Management Variants, Ecological Chemistry Engineering S, vol. 19, 2012, s. 359-372.
- [21] Suligowski Z.: Infrastruktura kanalizacyjna w gospodarce komunalnej. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, wyd. 1, Gdańsk 2006.
- [22] Szkoła M.: Analiza kosztu cyklu trwałości (LCC) w ocenie efektywności środków transportu szynowego, Logistyka, nr 3, 2011, s. 2639-2648.
- [23] Tixier G., Lafont M., Grapentine L., Rochfort Q., Marsalek J.: Ecological risk assessment of urban stormwater ponds: Literature review and proposal of a new conceptual approach providing ecological quality goals and the associated bioassessment tools, Ecological Indicators, vol. 11, 2011, s. 1497-1506.
- [24] Uda M., Van Seters T., Graham C., Rocha L.: Evaluation of Life Cycle Costs for Low Impact Development Stormwater Management Practices, Final Report, Sustainable Technologies Evaluation Program, Toronto and Region Conservation Authority, 2013.

LIFE CYCLE COSTS ANALYSIS OF INFILTRATION BOXES

Summary

Changes in land development within urban catchment areas and the resulting increase in surface sealing cause disturbances in the natural cycle of water circulation. As a result, a number of problems could be encountered in the case of the use of traditional drainage systems. Therefore, it is necessary to approach to the issue of designing urban infrastructure in a sustainable way and use retention and infiltration devices. The choice of a specific solution from among available alternatives is determined, inter alia, by the amount of investment and operational costs of a given system, which could be estimated by using the Life cycle costs analysis. This paper characterizes the life cycle costs of infiltration boxes. The calculation model which allows to assess the value of LCC also has been presented.

Keywords: LCC analysis, drainage, infiltration devices, infiltration boxes

DOI:10.7862/rb.2014.51

Przesłano do redakcji: lipiec 2014 r.

Przyjęto do druku: wrzesień 2014 r.