

## MOŻLIWOŚCI I OPŁACALNOŚĆ WYKORZYSTANIA ŚCIEKÓW SZARYCH DO NAWADNIANIA ROŚLIN

Thanh Hung Nguyen<sup>1</sup>, Ryszard Błażejowski<sup>1</sup>, Marcin Spychała<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94A, 60-649 Poznań

\* Autor do korespondencji: [marsp@up.poznan.pl](mailto:marsp@up.poznan.pl)

### STRESZCZENIE

Celem badań była ocena wpływu użycia ścieków szarych (surowych i oczyszczonych) do nawadniania trawy (życica trwała, *Lolium perenne*), wyhodowanej na drobnym piasku, na przyrost biomasy w okresie 4 miesięcy. Zastosowano trzy rodzaje cieczy do nawadniania (woda wodociągowa, surowe ścieki szare i oczyszczone ścieki szare) w na dwóch poziomach dawek częściowych: niskim i wysokim (5 i 15 mm na tydzień), w dawkach całkowitych o wysokości 15, 25, 35 i 45 mm na tydzień. Ścieki surowe z pralki, kąpieli w wannie i mycia rąk charakteryzowały się następującymi wskaźnikami: ChZT –  $247 \pm 33 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , BZT<sub>5</sub> –  $81 \pm 12 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ , azot całkowity –  $7,2 \pm 0,9 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$  i fosfor całkowity –  $4,7 \pm 0,7 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$ , zaś ścieki oczyszczone odpowiednio:  $81 \pm 12 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ ,  $23 \pm 6 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ ,  $4,8 \pm 0,9 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ ,  $2 \pm 0,2 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Wyniki badań wykazały, że wzrost nadziemnej biomasy jest zależny od całkowitej dawki cieczy w zakresie 15 do 45 mm na tydzień. Średni przyrost biomasy trawy podlewanej wodą wodociągową, ściekami oczyszczonymi i ściekami surowymi dla dawki częściowej 5 mm na tydzień (w ramach dawek całkowitych 15–45 mm na tydzień) wyniósł  $40,5 \pm 7,5$ ,  $39,1 \pm 7,3$ ,  $42,8 \pm 6,0 \text{ mg s.m.}$ , odpowiednio, a dla dawki częściowej 15 mm na tydzień:  $52,6 \pm 7,8$ ,  $54,0 \pm 7,5$ ,  $50,3 \pm 9,2 \text{ mg s.m.}$ , odpowiednio. Różnica przyrostu suchej biomasy nawadnianej oczyszczonymi ściekami szarymi dawką częściową 5 mm na tydzień i dawką częściową 15 mm na tydzień (na korzyść tej wyższej) była większa niż dla pozostałych rodzajów cieczy; była też istotna statystycznie ( $p > 6\%$ ). Badania wykazały, że surowe i oczyszczone ścieki szare, mogą stanowić alternatywę dla wody wodociągowej w kontekście nawadniania trawnika, nie wywierając negatywnego wpływu na przyrost biomasy.

**Słowa kluczowe:** wykorzystanie ścieków, nawadnianie, woda wodociągowa, ścieki szare, życica trwała

## FEASIBILITY AND ECONOMIC EFFICIENCY OF GREYWATER REUSE FOR PLANT IRRIGATION

### ABSTRACT

The study was conducted on grass (*Lolium perenne*) grown on fine sand in pots to evaluate the effect of greywater reuse on total dry biomass of grass during 4 months. The experiment has been designed as full factorial with total water load: 15, 25, 35 and 45 mm·week<sup>-1</sup>. Three categories of irrigation water (tap water, treated greywater,



SIEĆ NA RZECZ  
INNOWACJI W ROLNICTWIE  
I NA OBSZARACH WIEJSKICH



Krajowa Sieć  
Obszarów Wiejskich



Program  
Rozwoju  
Obszarów  
Wiejskich  
na lata 2014-2020

„Europejski Fundusz Rolny na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich: Europa inwestująca w obszary wiejskie”.

Artykuł opracowany na zlecenie Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie.

Artykuł współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach II Schematu Pomocy Technicznej

„Krajowa Sieć Obszarów Wiejskich” Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020.

Instytucja Zarządzająca Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020

– Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

raw greywater) were tested in conditional combination with two levels for each category that is the low and high level at 5 and 15 mm·week<sup>-1</sup>, respectively. The COD, BOD<sub>5</sub>, total nitrogen, total phosphorus is 247 ± 33 mg·dm<sup>-3</sup>, 81 ± 12 mg·dm<sup>-3</sup>, 7.2 ± 0.9 mg·dm<sup>-3</sup>, 4.7 ± 0.7 mg·dm<sup>-3</sup> of raw greywater and 81 ± 12 mg·dm<sup>-3</sup>, 23 ± 6 mg·dm<sup>-3</sup>, 4.8 ± 0.9 mg·dm<sup>-3</sup>, 2 ± 0.2 mg·dm<sup>-3</sup> of treated greywater, respectively. The results showed that the dry biomass yields increase when increasing total irrigation water dose from 15 to 45 mm·week<sup>-1</sup>. The dry biomass yields at 5 mm·week<sup>-1</sup> share of tap water, treated greywater, or raw greywater in total irrigation water doses 15-45 mm·week<sup>-1</sup> were equal to 40,5 ± 7,5, 39,1 ± 7,3, 42,8 ± 6,0 mg d.m. and at 15 mm·week<sup>-1</sup> partial dose: 52,6 ± 7,8, 54,0 ± 7,5, 50,3 ± 9,2 mg d.m. per pot, respectively. The increase in dry biomass yield of grass irrigated with treated greywater (partial dose from 5 to 15 mm·week<sup>-1</sup>) was higher and more significant ( $p = 0.13, 0.06, 0.37$ ) than in the two other cases. The study concludes that treated greywater, raw greywater can be a partial or complete replacement for tap water without compromising ryegrass biomass yield.

**Keywords:** greywater reuse, irrigation, tap water, greywater, perennial ryegrass

## WPROWADZENIE

Oszczędność lub ponowne wykorzystanie ścieków jest jednym z wielu rozwiązań mających na celu zmniejszenie kryzysu związanego z niedoborem wody słodkiej, który staje się coraz powszechniejszy w wielu regionach świata w kontekście globalnej zmiany klimatu. Jednym z potencjalnie najbardziej rentownych rozwiązań, jest ponowne wykorzystanie ścieków do nawadniania w gospodarstwie domowym.

W ostatnich latach, w wielu krajach cierpiących na niedobory wody, wzrasta zainteresowanie użyciem ścieków szarych, tj. pochodzących z łazienki, pralni i kuchni. Wiele strategii i technologii oczyszczania prowadzi do wykorzystania ścieków szarych do nawadniania roślin [Pinto i in. 2010; Reichman i in. 2013]. Ścieki szare mogą być użyte jako surowe lub częściowo oczyszczone, w zależności od celu wykorzystania i poziomu wrażliwości roślin oraz środowiska glebowego.

Ścieki surowe lub wstępnie oczyszczone są często stosowane w miejscu ich powstawania, tj. w gospodarstwie domowym, np. do nawadniania trawnika lub/i roślin ozdobnych. Zasadniczo nawadnianie roślin trawiastych lub ozdobnych nie wymaga wody wysokiej jakości, dlatego ścieki szare są łatwo akceptowalne, ze względu na ich ilość oraz składniki odżywcze [Matos i in. 2012]. Według badań Pinto i Maheshwari [2010], w wielu miastach Australii zużywa się do nawadniania ogrodów i trawników przydomowych około 30% wody wodociągowej (pitnej). Oznacza to, że używając ścieków szarych do nawadniania roślin można zaoszczędzić 30-40% wody wodociągowej i w takim samym stopniu zmniejszyć zrzut ścieków bytowych [Al-Jayyousi 2003].

Ilość ścieków szarych pochodzących z gospodarstwa domowego zapewnia zapotrzebowanie do nawadniania przeciętnej wielkości trawników i

ogrodów przydomowych. W badaniu przeprowadzonym dla miejskiej rezydencji w Indiach wykazano, że średnie zużycie wody do nawadniania roślin wynosiło 2,5 ± 0,6 dm<sup>3</sup> na osobę dziennie [Edwin i in. 2014]. Ilość wody wykorzystywanej do nawadniania trawnika lub ogrodu zależy od wielu czynników, takich jak: rodzaj roślin, powierzchnia, rodzaj gleby, położenie geograficzne, klimat, warunki pogodowe. Według badań Matosa i in. [2012], posesje posiadające ogrody lub trawniki o średniej powierzchni 40 m<sup>2</sup> stanowią 30% z całkowitej 64% domów w Portugalii, a wytwarzane w gospodarstwie domowym ścieki szare zapewniłyby nawadnianie powierzchni 20 m<sup>2</sup> w miesiącach suchych w ilości 11,5 mm/d, co odpowiadało 230 dm<sup>3</sup> dziennie [Matos i in. 2012].

W kontekście zmian klimatycznych i coraz mniejszej ilości wody słodkiej, oczyszczanie ścieków i ich ponowne wykorzystanie jest uzasadnione środowiskowo i ekonomicznie. Oczyszczanie ścieków szarych i ich wykorzystanie do spłukiwania toalet i w innym celu w Polsce nie było do tej pory popularne [Kujawa-Roeleveld i Błażejewski 2011], głównie ze względu na niską opłacalność (niskie ceny wody wodociągowej). Jednakże analizy wykazały, że rosnące ceny zaopatrzenia w wodę zwiększają ekonomiczną zasadność wykorzystania oczyszczonych ścieków szarych w ramach gospodarstwa domowego, gdzie zostały wytworzone.

Celem niniejszej pracy była ocena uwarunkowań i ekonomicznej efektywności użycia ścieków szarych do nawadniania roślin na przykładzie nawadniania ściekami szarymi życicy trwałej. Skuteczność nawadniania oceniano na podstawie przyrostu biomasy trawy w doświadczeniu wazonowym. Dodatkowo wykonano analizę ekonomiczną celowości wykorzystania bytowych ścieków szarych do nawadniania przydomowego trawnika.

## MATERIAŁ I METODYKA

Badania przeprowadzono na życicy trwałej (*Lolium perenne*) rosnącej w doniczkach w celu oceny wpływu nawadniania ściekami szarymi na przyrost biomasy w ciągu 4 miesięcy. Doniczki o wysokości 100 mm, były wypełnione piaskiem drobnym do wysokości 85 mm. Górna średnica wewnętrzna (na poziomie powierzchni piasku) wynosiła 62 mm, a średnica dolna (na poziomie dna) 40 mm. Każdą z 16 doniczek obsiano sześćdziesięcioma nasionami życicy trwałej. Wszystkie doniczki ustawiono przy oknie w laboratorium z zachowaniem losowego rozmieszczenia. Temperatura wahała się w granicach 14–20 °C. Eksperyment prowadzono w okresie od listopada 2017 r. do lutego 2018 r. Rośliny były doświetlane za pomocą lampy jarzeniowej, aby symulować warunki oświetlenia dziennego panujące w lecie. Macierz planu trzyczynnikowego eksperymentu całkowitego przedstawia tabela 1.

Tygodniowe dawki nawodnieniowe wynosiły 15, 25, 35 lub 45 mm. Przebadano trzy rodzaje cieczy do nawadniania (A – woda wodociągowa, B – oczyszczone ścieki szare C – surowe ścieki szare), traktowane jako niezależne zmienne (czynniki), w kombinacji z dwiema dawkami nawodnieniowymi: niską 5 mm (– w tab. 1) i wysoką 15 mm (+ w tab. 1) na tydzień. Łącznie przeprowadzono  $2^3 = 8$  eksperymentów z jednym powtórzeniem.

Woda wodociągowa pobierana była z sieci komunalnej miasta Poznania. Surowe ścieki szare pochodziły z prania w pralce automatycznej i – jako syntetyczne, imitowały skład wody po kąpieli w wannie oraz ścieki powstałe przy myciu rąk w umywalce. Ścieki surowe oczyszczano w laboratorium Katedry Inżynierii Wodnej i Sanitarnej UP w Poznaniu za pomocą instalacji, w skład której wchodziły: osadnik lamelowy oraz filtry wykonane z węgla aktywnego i piasku. Jakość cieczy użytych do nawadniania określano przy użyciu następujących wskaźników: ChZT, BZT<sub>5</sub>, azot całkowity i fosfor całkowity, a ich wartości

wynosiły odpowiednio:  $247 \pm 66 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ ,  $81 \pm 24 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ ,  $7,2 \pm 1,8 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ ,  $4,7 \pm 1,4 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$  dla ścieków surowych i  $81 \pm 23 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ ,  $23 \pm 12 \text{ mg O}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ ,  $1,8 \pm 1,8 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ ,  $2 \pm 0,3 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$  dla ścieków oczyszczonych. Ciecze dawkowano co trzy dni, przez ich wylewanie na powierzchnię gruntu. Trawę ścinano co 4 tygodnie, zachowując stałą odległość cięcia 5 cm od powierzchni gruntu. Bezpośrednio po ścięciu trawy oznaczono jej masę wilgotną i suchą.

Główne etapy i zakres badań przedstawia rysunek 1. W artykule przedstawiono wyniki tylko niektórych z zaplanowanych badań.

Różnice w przyroście biomasy trawy w różnych kombinacjach dawkowania trzema cieczami analizowano statystycznie za pomocą testu t-Studenta z użyciem programu R.

## WYNIKI I DYSKUSJA

### Wpływ kombinacji rodzaju cieczy i jej dawki na przyrost biomasy trawy

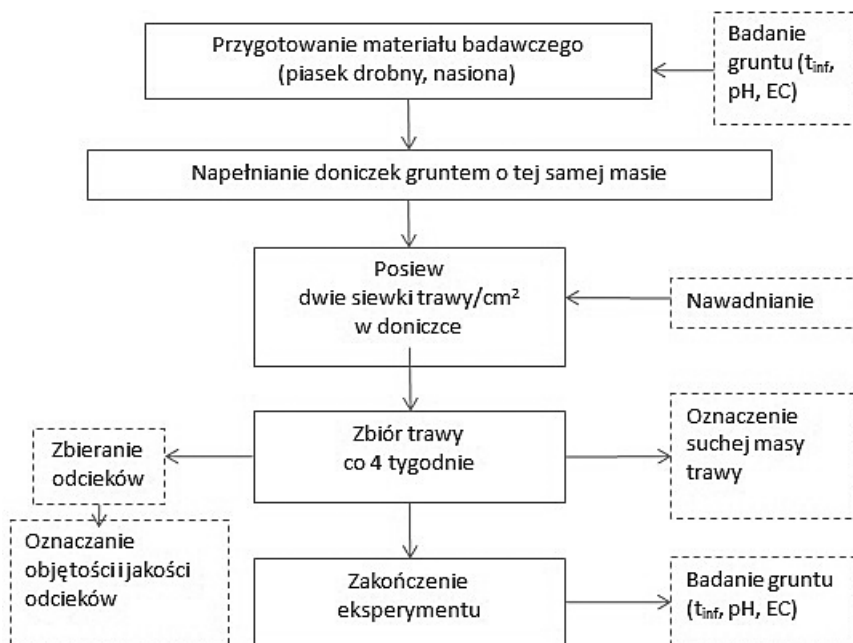
Średnia (z dwóch) wartość suchej biomasy w całym eksperymencie przy całkowitej dawce nawodnieniowej, wynoszącej 25 mm na tydzień, wahała się od 26,9 do 39,7 mg s.m.. Na rysunku 2 przedstawiono wpływ nawadniania na przyrost biomasy przy dawce 25 mm na tydzień w zależności od rodzaju cieczy i jej dawki.

Największe średnie przyrosty stwierdzono dla wody wodociągowej przy dawce 5 mm na tydzień, oczyszczonych ścieków szarych – dla dawki 15 mm na tydzień i surowych ścieków szarych – dla dawki 5 mm na tydzień. Różnice pomiędzy przyrostem biomasy dla różnych cieczy i dawek były stosunkowo małe, zwłaszcza w przypadku wody wodociągowej, przy czym nie stwierdzono istotnej zależności przyrostu biomasy od wielkości dawki. Przyrost biomasy trawy był większy w przypadku podlewania ściekami szarymi oczyszczonymi dawką częściową 15 mm na tydzień niż przy ich dawce

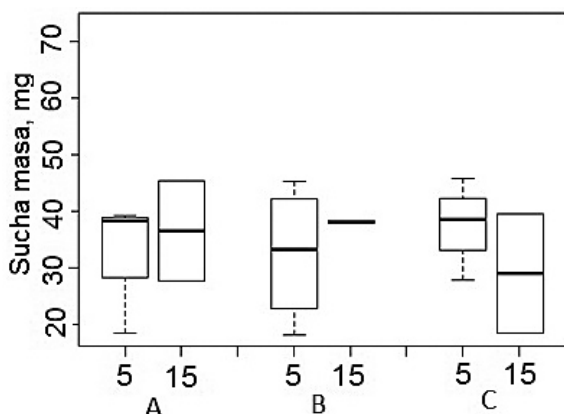
**Tabela 1.** Macierz planu eksperymentu

**Table 1.** Matrix of experimental design

Nr doświadczenia		1	2	3	4	5	6	7	8
Poziom czynnika	A	–	+	–	–	+	+	–	+
	B	–	–	+	–	+	–	+	+
	C	–	–	–	+	–	+	+	+
Dawka tyg., mm		15	25	25	25	35	35	35	45



Rys. 1. Schemat blokowy głównych etapów badań  
 Fig. 1. Flowchart of the main stages of research

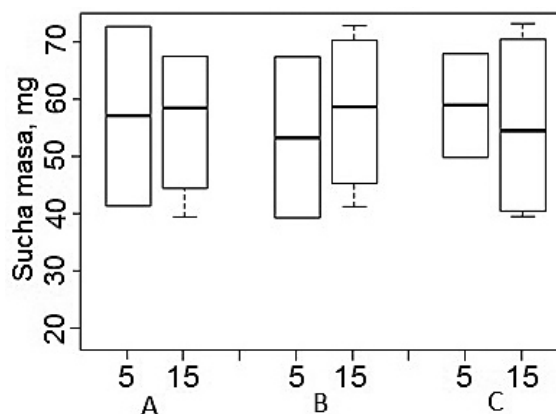


Rys. 2. Wpływ udziału poszczególnych cieczy w dawce całkowitej (25 mm/tydzień) na przyrost suchej masy trawy

Fig. 2. Effect of share of specific irrigation liquid (category) in total dose 25 mm·week<sup>-1</sup> on biomass yield

częściowej, równej 5 mm na tydzień. Odmienne sytuacja przedstawiała się w przypadku surowych ścieków szarych – stwierdzono mniejszy przyrost biomasy dla większej ich dawki częściowej. Średni przyrost biomasy w przypadku wody wodociągowej był nieznacznie mniejszy dla większej dawki.

Dla całkowitej dawki tygodniowej, wynoszącej 35 mm, przyrost biomasy wahał się od 43,6 do 59,3 mg s.m.. Rysunek 3 przedstawia wpływ nawadniania na przyrost biomasy przy dawce 35 mm/tydzień w zależności od rodzaju cieczy i wielkości dawki.



Rys. 3. Wpływ udziału poszczególnych cieczy w dawce całkowitej 35 mm na tydzień na przyrost biomasy

Fig. 3. Effect of share of specific irrigation liquid (category) in total dose 35 mm·week<sup>-1</sup> on biomass yield

Podobnie jak przy całkowitej dawce 25 mm/tydzień, również przy dawce 35 mm/tydzień, dodatnią korelację pomiędzy przyrostem biomasy a wielkością dawki stwierdzono jedynie w przypadku oczyszczonych ścieków szarych. Odmienny efekt zaobserwowano w przypadku surowych ścieków szarych – stwierdzono mniejszy przyrost biomasy dla większej dawki nawodnieniowej. Średni przyrost biomasy w przypadku wody wodociągowej był tylko nieznacznie większy dla większej dawki. Na podstawie powyższych wyników badań można uznać, że zwiększenie całkowitej dawki nawodnieniowej (z 25 do 35 mm/

tydzień) powoduje zwiększenie przyrostu biomasy, jednak wyniki są trudne do zinterpretowania w odniesieniu do poszczególnych rodzajów (kategorii) cieczy.

### Wpływ nawadniania na przyrost biomasy w odniesieniu do wszystkich dawek (15–45 mm na tydzień)

Na rysunku 4 przedstawiono wpływ udziału poszczególnych cieczy we wszystkich dawkach całkowitych (15–45 mm na tydzień) na przyrost biomasy trawy.

Stwierdzono średni przyrost biomasy dla wody wodociągowej, ścieków oczyszczonych i ścieków surowych dla dawki 5 mm na tydzień w całkowitej dawce (15–45 mm na tydzień) wynoszący  $40,5 \pm 7,5$ ,  $39,1 \pm 7,3$ ,  $42,8 \pm 6,0$  mg s.m., odpowiednio. Natomiast dla udziału dawki równego 15 mm na tydzień, średni przyrost biomasy był większy i wynosił odpowiednio  $52,6 \pm 7,8$ ,  $54,0 \pm 7,5$ ,  $50,3 \pm 9,2$  mg s.m.. Różnic w wartościach średnich pomiędzy dawką częściową 5 i 15 mm na tydzień dla każdej użytej cieczy, nie potwierdziła test t-Studenta na poziomie istotności  $p \leq 0,05$  ( $p = 0,13$  dla wody wodociągowej,  $p = 0,06$  dla ścieków oczyszczonych i  $p = 0,37$  dla ścieków surowych).

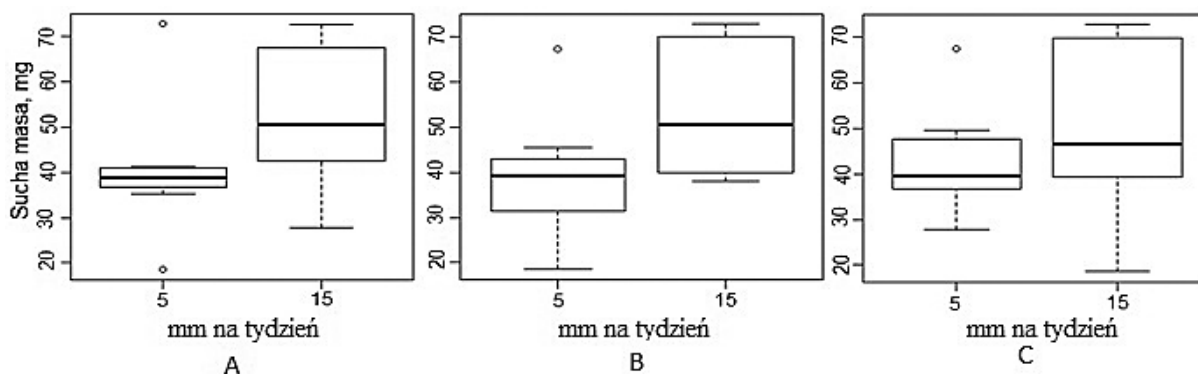
### Związki pomiędzy rodzajami cieczy a przyrostem biomasy w odniesieniu do wszystkich zastosowanych dawek

Stwierdzono korelację pomiędzy przyrostem biomasy a udziałem dawki każdego rodzaju cieczy (rys. 5) w całkowitych dawkach (od 15 do 45 mm na tydzień), jednak uzyskane wartości współczynnika korelacji są niskie: 0,39, 0,48, 0,24 dla wody wodociągowej, ścieków oczyszczonych

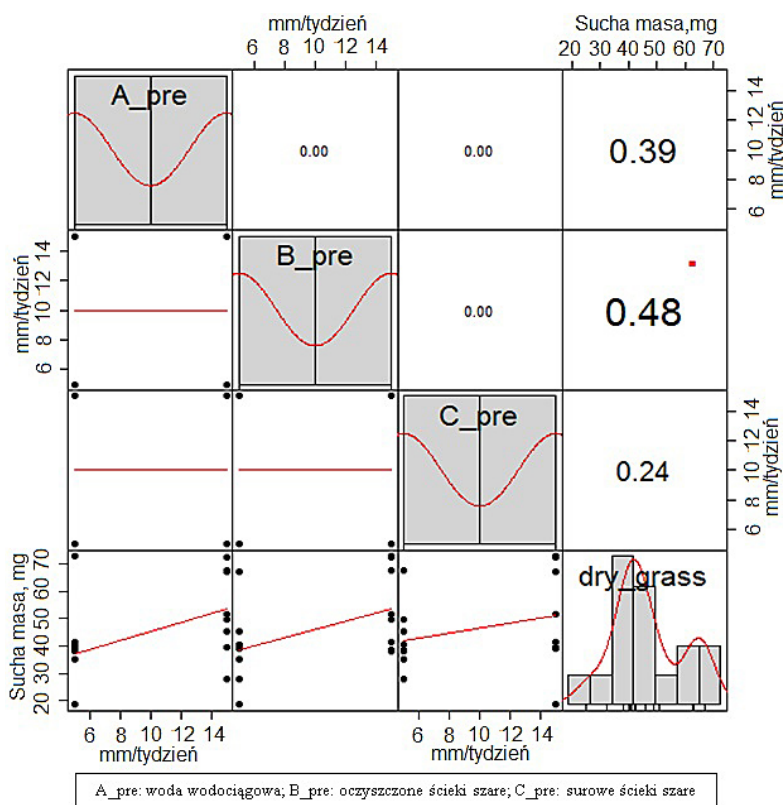
i surowych, odpowiednio. Jedynie wartość 0,48 jest statystycznie istotna na poziomie równym lub większym od 6% dla liczebności próby  $N > 17$ .

Zebrany plon całkowity trawy w przeliczeniu na 1 hektar (100–210 kg s.m./ha) był stosunkowo niski, ale trawa nie była specjalnie nawożona i rosła w warunkach sztucznego oświetlenia. Słaby przyrost trawy może być zaletą, gdyż zmniejsza częstotliwość koszenia trawnika.

Alfiya *i in.* (2012) zastosowali surowe i oczyszczone ścieki szare, pochodzące z umywalki, pralki i spod natrysku do nawadniania – podobnie jak w opisanym powyżej eksperymencie – życicy trwałej. Ścieki oczyszczano biologicznie na obrotowym złożu tarczowym. Zastosowano dawki 5–90 mm (przeciętnie 45 mm, co trzy dni) wody wodociągowej (kontrola) na 4 wazon, surowych ścieków szarych na kolejne 4 wazon i oczyszczonych ścieków szarych na pozostałe 4 wazon, wystawione poza laboratorium w kampusie politechniki Technion w Hajfie (Izrael). Podczas 144 bezdeszczowych dni (od kwietnia do czerwca 2006 r.) eksperymentu wazonowego nie zaobserwowano objawów chorobowych trawy, nawet przy nawadnianiu samymi tylko ściekami surowymi. Największy przyrost biomasy stwierdzono przy podlewaniu trawy ściekami oczyszczonymi. Podobnie jak w badaniach ze ściekami pralniczymi, wykonanymi przez Misrę *i in.* (2010), efekt ten przypisano zawartości substancji biogennej. Ouldboukhitine *i in.* (2014) badali wpływ nawadniania życicy trwałej ściekami szarymi na jej odporność na podwyższone temperatury, często występujące latem na zielonych dachach. Stwierdzono, że odporność ta była o 30% niższa niż przy podlewaniu wodą wodociągową, ale nie zauważono żadnych negatywnych efektów fizjologicznych.



Rys. 4. Wpływ udziału poszczególnych cieczy w dawce całkowitej (15–45 mm na tydzień) na przyrost biomasy  
Fig. 4. Effect of share of specific irrigation liquid (category) in total dose (15–45 mm·week<sup>-1</sup>) on biomass yield



**Rys. 5.** Korelacja przyrostu biomasy z wielkością dawki częściowej poszczególnych cieczy w pełnej dawce tygodniowej (od 15 do 45 mm/tydzień)

**Fig. 5.** Correlation among categories on the dry biomass yield of grass in the total dose (from 15 to 45 mm·week<sup>-1</sup>)

Wyniki tych badań zostały częściowo potwierdzone w naszych badaniach, w szczególności w odniesieniu do przydatności oczyszczonych w 60–70% ścieków szarych.

### Analiza ekonomiczna

Analizę ekonomiczną przeprowadzono obliczając całkowite roczne oczekiwane koszty według formuły:

$$K_c = I \cdot r + K_e$$

gdzie:  $I$  – nakłady inwestycyjne, EUR,  $r$  – roczna rata amortyzacji,

$$r = \frac{s(1+s)^n}{(1+s)^n - 1}$$

$K_e$  – średni roczny koszt eksploatacji i konserwacji, EUR/rok,  $s$  – stopa dyskontowa [-],  
 $n$  – czas życia systemu w latach.

Roczne oszczędności kosztów netto wynoszą:

$$R = R_{ws} - K_c$$

$R$  – roczne oszczędności kosztów netto, EUR,

$R_{ws}$  – roczne oszczędności na opłatach za wodę i ścieki, EUR.

Do analizy ekonomicznej przyjęto, że system oczyszczania ścieków szarych, składający się z osadnika lamelowego i filtrów włókninowo-piaskowych, wspomaganych węglem aktywnym, zastosowano w gospodarstwie domowym zamieszkałym przez 4 osoby, a ścieki oczyszczone wykorzystywane są do nawadniania trawnika przydomowego. Nakłady inwestycyjne (koszty zakupu i instalacji) przyjęto w wysokości 900 EUR. Jako cenę wody przyjęto 1 EUR·m<sup>-3</sup>, a cenę odprowadzania ścieków – 2 EUR·m<sup>-3</sup>. Koszt energii elektrycznej to 0,14 EUR·kWh<sup>-1</sup>. Przy stopie dyskontowej wynoszącej  $s = 0,06$ , i czasie użytkowania systemu wynoszącym  $n = 20$  lat, roczna rata amortyzacji wynosi  $r = 0,09$ . Objętość ścieków oczyszczonych wykorzystanych do nawadniania trawnika przez 7 miesięcy w roku wynosi 50 m<sup>3</sup> (średnio 0,24 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>). Koszty eksploatacji i konserwacji systemu przyjęto w wysokości 0,1 EUR·m<sup>-3</sup> ścieków oczyszczonych. Całkowity roczny oczekiwany koszt ( $K_c$ ) dla ścieków oczyszczonych wynosi

86 EUR. Roczny koszt wody pobranej z wodociągu do podlewania trawnika i roczna opłata ze ścieki odprowadzane do kanalizacji (przy braku oczyszczalni przydomowej) wyniósłby 150 EUR, stąd roczne oszczędności wynoszą 64 EUR. Przy czasie amortyzacji (eksploatacji) wynoszącym 20 lat, zwrot nakładów inwestycyjnych na oczyszczalnię ścieków szarych z wykorzystaniem ścieków oczyszczonych do podlewania trawnika (ogrodu) nastąpiłby po 14 latach. Jest to już okres znacznie krótszy niż obliczony 7 lat temu przez Kujawę-Roeleveld i Błażejewskiego [2011], co wskazuje, że w przyszłości opłacalność wykorzystania ścieków szarych do nawadniania roślin w ogrodach przydomowych może być jeszcze większa.

## WNIOSKI

Badania z wykorzystaniem życicy trwałej prowadzono przez cztery miesiące w celu oceny przyrostu biomasy oraz efektywności ekonomicznej wykorzystania oczyszczonych i surowych ścieków szarych do jej nawadniania. Na podstawie tych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Różnica przyrostu biomasy nawadnianej oczyszczonymi ściekami szarymi w dawce 5 mm na tydzień i dawce 15 mm na tydzień była większa niż dla pozostałych rodzajów cieczy.
2. Przyrost biomasy był uzależniony od dawki i rodzaju cieczy użytej do nawadniania.
3. Wzrost biomasy trawy wykazał najsilniejszą korelację dodatnią z wielkością dawki częściowej oczyszczonych ścieków szarych – była ona istotna na poziomie  $p > 0,06$ .
4. Zwrot nakładów inwestycyjnych na oczyszczalnię ścieków szarych z wykorzystaniem ścieków oczyszczonych do podlewania trawnika (ogrodu) można szacować na kilka lub kilkanaście lat w zależności od ceny zakupu wody i opłaty za odprowadzanie ścieków do kanalizacji.

Badania wykazały, że surowe i oczyszczone ścieki szare, mogą stanowić alternatywę dla

wody wodociągowej w kontekście nawadniania trawnika, nie wywierając negatywnego wpływu na przyrost biomasy.

## BIBLIOGRAFIA

1. Alfya Y., Damti O., Stoler-Katz A., Zoubi A., Shaviv A. and Friedler E. 2012. *Potential impacts of on-site greywater reuse in landscape irrigation*. Water Science and Technology, 65 (4) 757-764.
2. Al-Jayyousi O.R. 2003. Greywater reuse: towards sustainable water management. Desalination, 156,181-92.
3. Benami M., Gillor O. and Gross A. 2016. Potential health and environmental risks associated with on-site greywater reuse: a review. Built Environment, 42(2): 212-229.
4. Edwin G.A., Gopalsamy P. and Muthu N. 2014. Characterization of domestic gray water from point source to determine the potential for urban residential reuse: a short review. Applied Water Science, 4(1), 39-49.
5. Kujawa-Roeleveld K., Błażejewski R. 2011. Wykorzystanie ścieków szarych w indywidualnych systemach kanalizacyjnych. Gospodarka Wodna, 1/2011, 27-30.
6. Matos C., Sampaio A. and Bentes I. 2012. Greywater use in irrigation: characteristics, advantages and concerns. Irrigation - Water Management, Pollution and Alternative Strategies, 159-84.
7. Misra R., Patel J. H. and Baxi, V. R. (2010). Reuse potential of laundry greywater for irrigation based on growth, water and nutrient use of tomato. Journal of Hydrology, (386) 95-102.
8. Ouldboukhitine S.-E., Spolek G. and Belarbi R. 2014. Impact of plants transpiration, grey and clean water irrigation on the thermal resistance of green roofs. Ecological Engineering, 67, 60-66.
9. Pinto U., Maheshwari B.L. and Grewal H.S. 2010. Effects of greywater irrigation on plant growth, water use and soil properties. Resources. Conservation and Recycling, 54, 429-435.
10. Reichman S.M., Wightwick A.M. 2013. Impacts of standard and 'low environmental impact' greywater irrigation on soil and plant nutrients and ecology. Applied Soil Ecology, 72, 195-202.