

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2017), 26 (3), 361–372  
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2017), 26 (3)  
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2017), 26 (3), 361–372  
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2017), 26 (3)  
<http://iks.pn.sggw.pl>  
DOI 10.22630/PNIKS.2017.26.3.35

**Natalia GMITRZUK, Piotr DĄBROWSKI, Katarzyna PIETRZYK,  
Bogumiła PAWLUŚKIEWICZ**

Katedra Kształtowania Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
Department of Environmental Improvement, Warsaw University of Life Sciences – SGGW

## **Wpływ oleju napędowego i naftalenu na początkowy wzrost i rozwój kostrzewy czerwonej (*Festuca rubra* L.**

**ssp. *commutata*)**

## **The impact of diesel and naphthalene on the initial growth and development of red fescue (*Festuca rubra* L.**

**ssp. *commutata*)**

**Słowa kluczowe:** olej napędowy, naftalen, kostrzewa czerwona, zanieczyszczenia gleby

**Key words:** diesel oil, naphthalene, red fescue, soil contamination

### **Wprowadzenie**

Rozwijająca się wciąż infrastruktura drogowa wymaga z jednej strony stosowania rozwiązań technicznych zabezpieczających przed zanieczyszczeniami komunikacyjnymi (Pawluk i Garbulewski, 2015), a z drugiej doboru roślin na tereny przydrożne stosownie do rodzaju i nasilenia antropopresji (Pawluśkiewicz, 2009; Gmitrzuk i Dąbrowski, 2014). Pod tym względem ważne jest poznanie nie tylko tolerancji traw na zasolenie gleby powstające przy likwidacji śliskości na

jezdni, ale również na zanieczyszczenie gleb substancjami ropopochodnymi, emitowanymi przez środki transportu samochodowego.

Najczęstszym źródłem zanieczyszczenia gleby substancjami ropopochodnymi jest olej napędowy, w tym wchodzący w jego skład naftalen (wielopierścieniowy węglowodór aromatyczny) (Gmitrzuk, 2013). Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku (Dz.U. z 2002 r. nr 165 poz. 1359) naftalen jest jednym z ośmiu wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, dla których analiza gleby jest obowiązkowa. Podobnie jak olej napędowy jest on związkiem polarnym, czyli bardzo słabo rozpuszczalnym w wodzie. Na tle innych wielopierście-

niowych węglowodorów aromatycznych (WWA) naftalen ma jednak największą rozpuszczalność i dlatego uważany jest za najbardziej szkodliwy dla środowisko glebowo-gruntowego (Poluszyńska, 2013). Wpływ WWA na rośliny opisywany jest w wielu publikacjach. Poruszają one aspekty związane z roślinami typowo polowymi (Smreczka i Maliszewska-Kordybach, 2000, 2003), jak również z fitobioremediacją (Małachowska-Jutsz, 2008; El Amrani, Dumas, Wick, Yergeau i Berthome, 2015; Tian, Zhao, Zhou, Qiao, Jin i Liu, 2017).

*Festuca rubra* jest gatunkiem odpornym na trudne warunki siedliskowe i zanieczyszczenia antropogeniczne (Pawluśkiewicz, 2009; Dyguś, Siuta, Wasiak i Madej, 2012). Wykazywano jej przydatność do zadarnień pasów zieleni wzdłuż arterii komunikacyjnych (Harkot, Wyłupek i Czarnecki, 2005; Wysoczek i Stawicki 2005; Wytyczne zakładania i utrzymania zieleni przydrożnej na potrzeby Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, 2013) oraz w rekultywacji składowisk i stabilizacji skarp (Pawluśkiewicz i Gutkowska, 2005; Antonkiewicz i Radkowski, 2006; Wolski, Kotecki, Spiak, Chodak i Bujak, 2006). Celem badań było określenie wpływu oleju napędowego i naftalenu w podłożu na początkowy wzrost i rozwój dwóch odmian, tj. *Musica* i *Nimba*, *Festuca rubra* L. ssp. *commutata*.

## **Materiały i metody**

Badania obejmowały dwa doświadczenia na szalkach Petriego i jedno doświadczenie wazonowe. W trakcie prowadzenia badań odmiana *Musica* nie była jeszcze zarejestrowana w Pań-

stwowym Rejestrze Roślin COBORU, a odmiana *Nimba* znajduje się w rejestrze od 1991 roku (Lista odmian roślin rolniczych..., 2015). Materiał siewny został udostępniony z hodowli Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – PIB w Radzikowie.

W pierwszym doświadczeniu badano odmianę *Musica*. Zastosowano olej napędowy (ON) w ilościach 10 i 20 g na 1 kg powietrznie suchego podłoża (Karta charakterystyki oleju napędowego BP Diesel Fuel). Wielkość dawek ustalono na podstawie analizy przedmiotowej tego rodzaju badań (Małuszyński i Małuszyńska, 2009; Małachowska-Jutsz i Miksch, 2010). W drugim doświadczeniu analizowano wpływ naftalenu w ilościach 0,02 i 0,04 g (Nf) na 1 kg powietrznie suchego podłoża na kiełkowanie ziarniaków odmiany *Nimba*. Ilość naftalenu ustalono, kierując się wartościami progowymi zamieszczonymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska z 9 września 2002 r. (Dz.U. z 2002 r. nr 165 poz. 1359). Na podstawie wyników badań chromatograficznych olejów napędowych stwierdzono, że zawartość naftalenu w zastosowanych dawkach oleju była średnio ośmiokrotnie większa (Gmitrzuk, 2013). W obu doświadczeniach podłożem był sterylny piasek (sterylizacja 60 min w 180°C). Piasek umieszczono w szalkach (100 g na szalkę, Ø 10 cm) po uprzednim zanieczyszczeniu substancją ropopochodną. Olej napędowy wymieszano z piaskiem, a naftalen wprowadzono w formie 20- i 40-procentowego roztworu wodnego naftalenu, po jego rozpuszczeniu w 1-procentowym roztworze acetonu. Kontrolę stanowił piasek bez zanieczyszczenia. Ziarniaki umieszczono w ilości 50 sztuk na szalkę. Doświadcze-

nie prowadzono w trzech powtórzeniach dla każdego wariantu badawczego, w warunkach kontrolowanego, stałego uwilgotnienia podłoża, przy naświetleniu naturalnym 16/8 h i średniej temperaturze powietrza wynoszącej 24°C. Określono tempo kiełkowania (liczba wykiełkowanych ziarniaków w kolejnych dniach od wyłożenia na szalkę przez 21 dni); wigor wyrażony energią kiełkowania ( $Ek$ ) oraz zdolność kiełkowania ziarniaków – żywotność ( $Zk$ ), odpowiednio po 7 i po 21 dniach od wyłożenia na podłoże, zgodnie z Dorywalskim i Wojciechowiczem (1964), posługując się wzorem:

$$Ek (Zk) = \frac{N_{sn}}{N_c} \cdot 100\%$$

gdzie:

$N_{sn}$  – liczba ziarniaków z korzeniem zarodkowym nie krótszym od długości ziarniaka w szalce,

$N_c$  – liczba ziarniaków wyłożonych na szalkę Petriego.

Stan siewek określano 21. dnia po wysiewie. Zmierzono wysokość pędu, długość korzenia zarodkowego oraz powierzchnię korzenia zarodkowego. Do pomiarów wykorzystano system WinRhizo wersja 2009 analizujący zeskanowany obraz roślin wyłożonych na przezroczystą folię. Mierzono wszystkie skielkowane ziarniaki.

Badania wazonowe były kontynuacją doświadczenia z olejem napędowym i odmianą Musica. Ich celem było określenie wpływu oleju napędowego w podłożu na wzrost i rozwój od wschodów do 145. dnia po wysiewie. Doświadczenie przeprowadzono w niezadaszonej hali wegetacyjnej SGGW w Warszawie, w wazonach (wysokość 22 cm, powierzchnia 112,5 cm<sup>2</sup>) wypełnionych

podłożem. Podłoże stanowiła wierzchnia warstwa gleby o pH<sub>H2O</sub> średnio 7,3 i składzie granulometrycznym piasku pylastego lekkiego, określonym metodą areometryczną. Do podłoża dodano 10 i 20 g oleju napędowego na 1 kg powietrznie suchej masy gleby i wymieszano mechanicznie. Waga wazonów po napełnieniu podłożem wynosiła 2350 ±10 g. Zastosowano nawożenie przedsiewne w dawce 30 g nawozu wieloskładnikowego na 1 m<sup>2</sup> (NPK 22–5–11), zgodnie z zaleceniami producenta. Następnie wysiano ziarniaki w ilości 15 g na 1 m<sup>2</sup>, tj. 0,17 g na wazon (216 sztuk). Podane wartości są zgodnie z normami wysiewu stosowanymi na trawniki dla *Festuca rubra* w siewie czystym (Pawluśkiewicz i Rutkowska, 1996). Dla każdego z badanych wariantów (0, 10 i 20 g oleju napędowego na 1 kg powietrznie suchej masy gleby) wykonano trzy powtórzenia. Określono tempo wzrostu roślin (pomiar wysokości pędów co 7 dni do terminu pierwszego koszenia oraz masę skoszonych pędów na wysokości 3 cm od powierzchni podłoża w 52., 86., 114. i 145. dniu po wysiewie). Masę pędów wyrażono w g na 1 m<sup>2</sup>. Przeanalizowano również powierzchnię uszkodzenia blaszki liściowej w 52. i 86. dniu po wysiewie za pomocą programu WinDias 3.1.

Średnia miesięczna temperatura powietrza w trakcie prowadzenia badań kształtowała się na poziomie 14,4–21,1°C, miesięczna suma opadów wiosną i latem wynosiła 63,8–100,1 mm. Jesienią wielkość opadów była niewielka (6–8 mm) (dane niepublikowane, SGGW 2014).

Wyniki opracowano statystycznie, wykorzystując analizę wariancji (ANO-

VA) przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  w programie StatGraphics Plus.

## Wyniki badań

### Wpływ substancji ropopochodnych na kiełkowanie ziarniaków i stan siewek

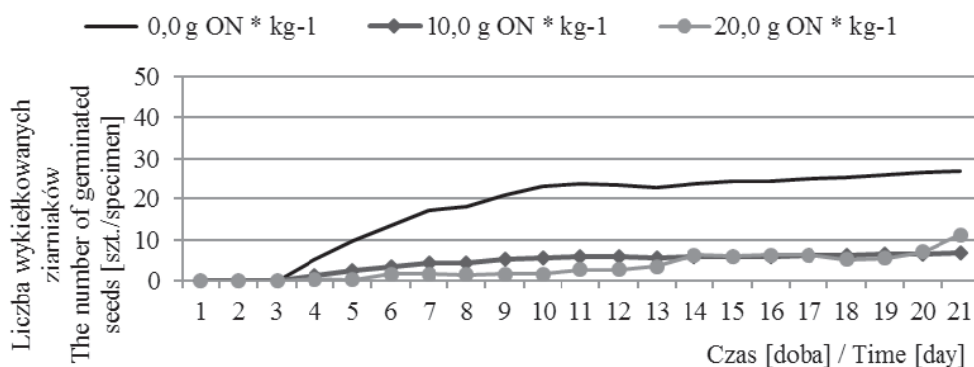
Zawartość w podłożu oleju napędowego, jak również samego naftalenu miały znaczny wpływ na tempo kiełkowania oraz wartość energii i zdolności kiełkowania ziarniaków badanych odmian *Festuca rubra* L. ssp. *commutata*.

Przebieg kiełkowania ziarniaków w badanych wariantach przedstawiono na rysunkach 1 i 2. Tempo kiełkowania na podłożu zanieczyszczonym substancjami ropopochodnymi było wyraźnie słabsze niż w warunkach kontrolnych. Na podłożu bez oleju napędowego liczba kiełkujących ziarniaków (odmiana Musica) szybko zwiększała się, zwłaszcza do 7. dnia od wyłożenia na szalkę (rys. 1). W pierwszym tygodniu wykiełkowało 17 ziarniaków, a w dwóch następnych

kiełkował średnio 1 ziarniak na dobę. Na podłożu z olejem ziarniaki kiełkowały równomiernie w liczbie od 2 do 4 na tydzień.

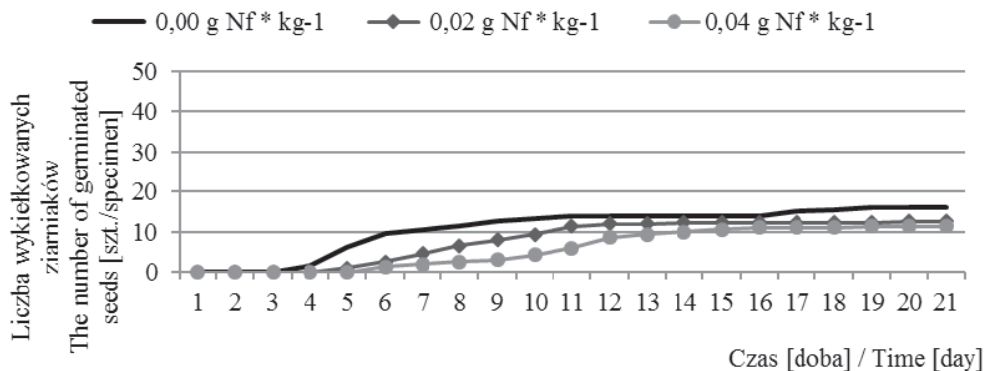
Na kontroli w obu doświadczeniach stwierdzono wolniejsze kiełkowanie odmiany Nimba od odmiany Musica, co wynika prawdopodobnie z różnic odmianowych. W pierwszym tygodniu doświadczenia skiełkowało 11 ziarniaków odmiany Nimba, a na podłożu zanieczyszczonym naftalenem w ilościach 0,02 g i 0,04 g tempo kiełkowania było odpowiednio 2-krotnie i 5-krotnie mniejsze (rys. 2). W drugim tygodniu na podłożach z naftalenem kiełkowanie ziarniaków było szybsze niż na kontroli. W trzecim tygodniu liczba skiełkowanych ziarniaków nie zwiększała się znacząco we wszystkich wariantach badawczych.

Wartość energii kiełkowania (wigu) ziarniaków na podłożu z olejem napędowym była poniżej 3%, niezależnie od jego zawartości (tab. 1). W stosunku do wariantu kontrolnego wartość energii kiełkowania była o średnio 93% mniej-



RYSunEK 1. Tempo kiełkowania ziarniaków odmiany Musica *Festuca rubra* L. ssp. *commutata* w zależności od zawartości oleju napędowego (ON) w podłożu

FIGURE 1. The germination rate of seeds variety Musica *Festuca rubra* L. ssp. *commutata* depending on the content of diesel oil (ON) in the substrate



RYSunEK 2. Tempo kiełkowania ziarniaków odmiany Nimba *Festuca rubra* L. ssp. *commutata* w zależności od zawartości naftalenu (Nf) w podłożu  
 FIGURE 2. The rate of germination of seeds variety Nimba *Festuca rubra* L. ssp. *commutata* depending on the content of naphthalene (Nf) in the substrate

TABELA 1. Wartość energii i zdolności kiełkowania ziarniaków *Festuca rubra* L. ssp. *commutata* w zależności od rodzaju i zawartości substancji ropopochodnej w podłożu  
 TABLE 1. The value of energy and germination of seeds of *Festuca rubra* L. ssp. *commutata* depending on the type and content of oil products in the medium

Badane parametry Analyzed parameters	Olej napędowy [g·kg <sup>-1</sup> podłoża] Diesel oil [g·kg <sup>-1</sup> medium]			Naftalen [g·kg <sup>-1</sup> podłoża] Naphthalene [g·kg <sup>-1</sup> medium]		
	0	10	20	0	0,02	0,04
Energia kiełkowania ( <i>Ek</i> ) Germination energy ( <i>Ge</i> ) [%]	36 a 2 SD	2 b 1 SD	3 b 1 SD	21 a 1 SD	9 ab 6 SD	4 b 6 SD
Zdolność kiełkowania ( <i>Zd</i> ) Germination capacity ( <i>Gc</i> ) [%]	53 a 2 SD	23 b 3 SD	21 b 1 SD	32 a 2 SD	25 ab 6 SD	23 b 2 SD

a, ab, b – grupy homogeniczne dla badanych paramentów (*Ek*, *Zd*) w wierszach / homogenous groups for the tested parameters (*Ge*, *Gc*) in rows.

sza. Negatywny wpływ oleju napędowego na ten parametr był większy niż naftalenu. Naftalen zmniejszał wartość energii kiełkowania ziarniaków w wariancie z 0,02 g o 56%, a w wariancie z 0,04 g o 81%. Podobną zależność uzyskano, analizując wpływ badanych substancji na zdolność kiełkowania (żywność) ziarniaków. Olej napędowy ograniczał zdolność kiełkowania ziarniaków o 57–60%, podczas gdy naftalen o 21–29%.

Konsekwencją przebiegu procesu kiełkowania ziarniaków *Festuca ru-*

*bra* L. ssp. *commutata* na badanych podłożach był stan siewek w 21. dniu od wyłożenia na szalki. Wykazano, że olej napędowy w podłożu powodował przede wszystkim ograniczenie wzrostu siewek. Na podłożu z mniejszą ilością oleju napędowego (10 g·kg<sup>-1</sup>) siewki były 15-krotnie niższe niż na kontroli, a na podłożu z większą jego zawartością (20 g·kg<sup>-1</sup>) w ogóle nie występowały liście (tab. 2). Długość i powierzchnia korzenia zarodkowego na podłożach z olejem były również istotnie mniejsze niż na

TABELA 2. Stan siewek *Festuca rubra* L. ssp. *commutata* w zależności od rodzaju i zawartości substancji ropopochodnej w podłożu

TABLE 2. Condition of *Festuca rubra* L. ssp. *commutata* shoots depending on the type and content of oil products in the medium

Badane parametry Analyzed parameters	Olej napędowy [g·kg <sup>-1</sup> podłoża] Diesel oil [g·kg <sup>-1</sup> medium]			Naftalen [g·kg <sup>-1</sup> podłoża] Naphthalene [g·kg <sup>-1</sup> medium]		
	0	10	20	0	0,02	0,04
Wysokość siewek Height shoots [mm]	62,0 a 8,1 SD	4,0 b 1,8 SD	0,0 b –	71,0 a 4,0 SD	43,0 b 18,0 SD	19,0 c 2,0 SD
Długość korzenia zarodkowego Length of embryonic root [mm]	20,6 a 3,7 SD	5,5 b 2,2 SD	3,1 b 0,5	10,1 a 0,9 SD	3,5 b 1,0 SD	1,2 c 0,4 SD
Powierzchnia korzenia zarodkowego Embryonic root surface [mm <sup>2</sup> ]	0,16 a 0,02 SD	0,05 b 0,03 SD	0,02 b –	0,33 a 0,08 SD	0,07 b 0,03 SD	0,17 b 0,03 SD

a, b, c – grupy homogeniczne dla badanych paramentów w wierszach / homogenous groups for the studied parameters in rows.

kontroli. Na podłożu z mniejszą ilością oleju napędowego korzeń zarodkowy był 4-krotnie krótszy, a jego powierzchnia 3-krotnie mniejsza niż na kontroli. W warunkach 2-krotnie większej zawartości oleju długość korzenia zarodkowego była 7-krotnie mniejsza, a jego powierzchnia 8-krotnie mniejsza niż na kontroli. Na zmiany w morfologii korzeni jako elementu obronnej reakcji roślin zielnych na czynnik stresowy wskazują również badania Pawluśkiewicz (2007) i Olifirowicz (2015). Interesującym wynikiem uzyskanych badań własnych jest również stosunek wysokości siewek do długości korzenia zarodkowego rosnących na badanych podłożach. W warunkach kontrolnych stosunek ten wynosił 3 : 1, na podłożu z 10 g ON·kg<sup>-1</sup> wynosił 1 : 1,4, a na podłożu z 20 g ON·kg<sup>-1</sup> siewki miały tylko korzenie zarodkowe.

W doświadczeniu z odmianą Nimba i naftalenem wykazano, że jego obecność

ograniczała w większym stopniu długość korzenia zarodkowego niż wzrost siewek. Reakcja ta była tym silniejsza, im większe było zanieczyszczenie podłoża, jednak w odróżnieniu od roślin rosnących na podłożu z olejem różnice te były istotne statystycznie. Wysokość siewek na podłożu z mniejszą zawartością naftalenu (0,02 g·kg<sup>-1</sup>) była 1,6-krotnie mniejsza, a na podłożu z większą jego zawartością (0,04 g·kg<sup>-1</sup>) prawie 4-krotnie mniejsza niż na kontroli. Długość korzenia zarodkowego była odpowiednio na zanieczyszczonych podłożach 3- i 8-krotnie mniejsza niż na podłożu bez naftalenu. Pomimo bardzo dużego ograniczenia wydłużania się korzenia zarodkowego u siewek rosnących na podłożu z 0,04 g naftalenu, jego powierzchnia była ponad dwa razy większa niż na podłożu o mniejszej zawartości tego związku. W miarę zwiększania ilości naftalenu w podłożu udział wysokości siewek



w stosunku do długości korzenia był większy i wynosił odpowiednio 12 : 1 i 15 : 1, podczas gdy na kontroli jedynie 7 : 1.

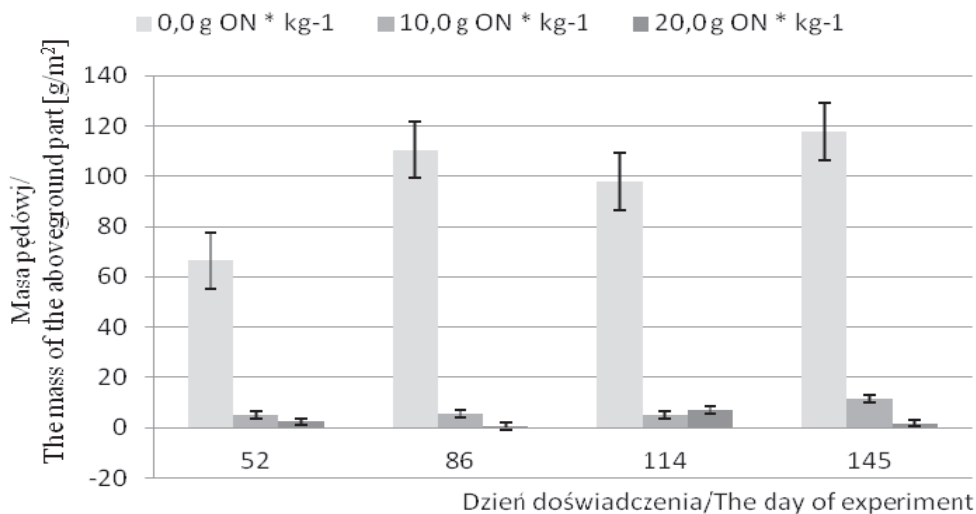
### Wpływ oleju napędowego na początkowy wzrost i rozwój odmiany Musica

We wszystkich wazonach pierwsze siewki pojawiły się po 9 dniach od wysiewu ziarniaków. Wysokość siewek po kolejnych 6 dniach na podłożu z 10 i 20 g ON·kg<sup>-1</sup> wynosiła 35 mm i była mniejsza o 12% od roślin rosnących na kontroli. Od 14. dnia po wejściu pierwszych siewek na podłożach z olejem napędowym stwierdzono zahamowanie wzrostu roślin. W rezultacie przed pierwszym skoszeniem długość pędów wynosiła

średnio 99 mm, a w wazonach z olejem napędowym była 4-krotnie mniejsza.

Wielkość masy pędów roślin rosnących w badanych wariantach wskazuje na stale utrzymującą się zależność negatywnego wpływu oleju napędowego na wzrost i rozwój *Festuca rubra* L. ssp. *commutata* (rys. 3). Po 145 dniach od wysiewu sucha masa pędów w przeliczeniu na 1 m<sup>2</sup> wynosiła 118 g na kontroli i odpowiednio 11,5 oraz 1,8 g na podłożach z olejem napędowym (10 i 20 g ON·kg<sup>-1</sup>).

Pomijając dysproporcje wielkości biomasy części nadziemnej między badanymi wariantami, należy podkreślić, że pod koniec okresu wegetacji masa pędów na podłożu zanieczyszczonym zwiększyła się w stosunku do pierwszych 114 dni doświadczenia.



RYSUNEK 3. Masa pędów *Festuca rubra* L. ssp. *commutata* odmiany Musica w okresie wegetacji w 2014 roku w zależności od zawartości oleju napędowego (ON) w podłożu. Słupki odchylenia standardowego (SD) umieszczono na wykresie

FIGURE 3. Weight of shoots *Festuca rubra* L. ssp. *commutata* variety Musica in the growing season 2014, depending on the content of diesel oil (ON) in the substrate. The bars of the standard deviation (SD) presented in graph

TABELA 3. Wartości wybranych parametrów blaszki liściowej *Festuca rubra* L. ssp. *commutata* odmiany Musica, w zależności od zawartości oleju napędowego (ON) w podłożu  
 TABLE 3. The selected parameter values for the leaf blade *Festuca rubra* L. ssp. *commutata* variety Musica, depending on the content of diesel oil (ON) in the substrate

Zawartość ON w podłożu Content ON in the soil [g·kg <sup>-1</sup> ]	Liczba pędów [szt.] The number of shoots [specimen]		Powierzchnia blaszki liściowej Area of the leaf lamina [mm <sup>2</sup> ]		Udział nekroz w blaszce liściowej The share of necrosis in the leaf lamina [%]	
	dzień doświadczenia i badania powierzchni blaszki liściowej the day of experiment and research area of the leaf blade					
	52	86	52	86	52	86
0	63	86	30,6 a 13,6 SD	28,2 a 11,5 SD	15,4	15,9
10	54	81	27,4 a 8,9 SD	23,0 a 4,5 SD	50,12	50,8
20	55	bd	13,3 b 4,8 SD	b.d.	47,4	b.d.

bd – brak referencyjnych danych / the lack of reference data.

a, b, c – grupy homogeniczne dla badanych paramentów w kolumnach / homogenous groups for the studied parameters in column.

Analiza blaszek liściowych pędów w dwóch kolejnych terminach koszenia wskazuje, że rośliny zareagowały na zawartość oleju napędowego w podłożu wyraźnym zamieraniem blaszek liściowych (tab. 3). Zarówno na podłożu z 10 g ON, jak i z 20 g ON połowa powierzchni blaszki wykazywała cechy nekroz. Rośliny rosnące na kontroli miały również obumarłe tkanki blaszki liściowej, ale ich wielkość kształtowała się na poziomie 15%. Wartość tą należy jednak kojarzyć z naturalnymi procesami zasychania liści szczególnie w sezonie letnim. Wykazano również statystycznie istotne różnice w przypadku nekroz liści roślin rosnących na kontroli w stosunku do liści zebranych z wariantu 20 g ON·kg<sup>-1</sup> podłoża.

## Podsumowanie i dyskusja

Analiza wyników dla początkowego wzrostu i rozwoju *Festuca rubra* L. ssp. *commutata* na podłożu z substancjami ropopochodnymi wykazała stosunkowo dużą wrażliwość na zawartość oleju napędowego i naftalenu w podłożu. Proces kiełkowania ziarniaków był znacznie wolniejszy niż na kontroli, zwłaszcza na podłożu z olejem napędowym (10 i 20 g ON·kg<sup>-1</sup>). W rezultacie wartość energii i zdolności kiełkowania były odpowiednio średnio o 93 i 58% mniejsze niż na kontroli. Wpływ naftalenu (0,02 i 0,04 g Nf·kg<sup>-1</sup>) na wartość tych parametrów dla odmiany Nimba był mniejszy (*Ek* średnio o 69%, *Zk* średnio o 25% w stosunku do kontroli). Należy jednak pod-



kreślić, że w zastosowanych dawkach oleju napędowym występowało średnio osiem razy więcej samego tylko naftalenu w porównaniu do analizowanych ilości tego związku. W rezultacie, mimo podobnych wartości dla żywotności ziarniaków badanych odmian (21–25%), Musica uzyskała lepsze wyniki.

Wykazano również wpływ badanych zanieczyszczeń na inne parametry biometryczne. Siewki, które rosły na podłożu z olejem napędowym, miały ograniczony wzrost części nadziemnej, a na podłożu z naftalenem korzenia zarodkowego. Negatywny wpływ naftalenu na przebieg kiełkowania wskazują również badania Pietrzyk (2015), przy czym reakcja innych traw była znacznie silniejsza niż *Festuca rubra* L. ssp. *commutata*. W badaniach Duncana i Gillian (2002) ziarniaki *Festuca rubra* na podłożu zanieczyszczonym olejem napędowym w ilościach 25 i 50 g·kg<sup>-1</sup> również kiełkowały lepiej niż innych traw, z wyjątkiem *Agrostis stolonifera*. Wzrost i rozwój traw na podłożu zanieczyszczonym węglowodorami (w tym 10,4 g WWA·kg<sup>-1</sup> s.m. gleby) badała również Małachowska-Jutrz (2008). W czwartym tygodniu po wysiewie długość korzeni pszenicy była 1,5 raza mniejsza w stosunku do kontroli, a żyta 3-krotnie. Korzenie badanych odmian kostrzewy w trzecim tygodniu doświadczenia na szalkach były 4- i 7-krotnie mniejsze w zależności od poziomu zanieczyszczenia olejem napędowym oraz 3- i 8-krotnie mniejsza dla podłoża zanieczyszczonego naftalenem. W trakcie 145 dni doświadczenia wazonowego stwierdzono znaczące różnice w masie pędów *Festuca rubra* L. ssp. *commutata* odmiany Musica rosnących na podłożach zanieczyszczonych. Ich

masa była średnio 10- i 100-krotnie mniejsza, a procent nekroz w blaszce liściowej ponad trzy razy większy niż na kontroli. Podobne wyniki uzyskali Małuszyński i Małuszyńska (2009). Wzrost zawartości oleju napędowego w glebie (1–10 g ON·kg<sup>-1</sup>) spowodował zmniejszenie masy pędów *Dactylis glomerata* średnio 15-krotnie. Pod koniec okresu wegetacji w doświadczeniu wazonowym rośliny rosnące na podłożu z 10 g ON·kg<sup>-1</sup> odznaczały się szybszym tempem wzrostu i rozwoju niż w pierwszych 114 dniach po wysiewie. Pozwala to na przypuszczenie, że w tym czasie rośliny przystosowały się do trudnych warunków środowiska glebowego. Zanieczyszczenia mogły również zostać rozłożone lub wymyte poza zasięg systemu korzeniowego (Małachowska-Jutrz, 2008). Na większą tolerancję na olej napędowy w późniejszych fazach rozwojowych roślin wskazują również badania Błaszczak, Nowak i Zakosztowicz (2009).

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki badań wskazują, że *Festuca rubra* L. ssp. *commutata* może być podgatunkiem o dużej przydatności do zagospodarowania gleb narażonych lub zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi. W związku z tym należy kontynuować badania nad doborem odmian, stosownie do rodzaju zanieczyszczenia gleby.

## Wnioski

Olej napędowy i naftalen istotnie wpływały na tempo kiełkowania oraz wartość energii i zdolności kiełkowania *Festuca rubra* L. ssp. *commutata*.

Naftalen spowodował w większym stopniu ograniczenie wzrostu korze-

nia zarodkowego, ale w mniejszym niż olej napędowy hamował wzrost części nadziemnych.

*Festuca rubra* L. ssp. *commutata* odmiany *Musica* jest bardziej odporna na zanieczyszczenia substancjami ropopochodnymi niż odmiana *Nimba*.

Masa pędów odmiany *Musica* rosnącej na podłożu zanieczyszczonym olejem napędowym była znacząco mniejsza niż na kontroli, niezależnie od poziomu zanieczyszczenia. Niemniej rośliny rosnące na podłożu z 10 g ON·kg<sup>-1</sup> po upływie 114 dni od wysiewu zaczęły wykazywać tendencje odbudowy runi w porównaniu do podłoża z 20 g ON·kg<sup>-1</sup>.

### Podziękowania

Autorzy pragną podziękować prof. dr. hab. inż. Grzegorzowi Żurkowi za udostępnienie materiału nasiennego Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie.

### Literatura

Antonkiewicz, J. i Radkowski, A. (2006). Przydatność wybranych gatunków traw i roślin motylkowatych do biologicznej rekultywacji składowisk popiołów paleniskowych. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin-Polonia*, 61, 165-172.

Błaszczak, M., Nowak, A. i Zakosztowicz, J. (2009). Wpływ fitoremediacji gleb skażonych substancjami ropopochodnymi na zmiany w ilości mikroorganizmów aktywnych amylolytycznie. W: Tereny zdegradowane i rekultywowane – możliwości ich zagospodarowania. Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej (strony 35-40). Wrocław: Wydawnictwo P.P.H. Zapol Dmochowski.

Dorywalski, J. i Wojciechowicz, M. (1964). Metodyka oceny nasion. Warszawa: PWRiL.

Duncan, H. i Gillian, A. (2002). Influence of diesel fuel on seed germination. *Environmental Pollution*, 120, 363-370.

Dyguś, K.H., Siuta, J., Wasiak, G. i Madej, M. (2012). Roślinność składowisk komunalnych i przemysłowych. Warszawa.

El Amrani, A., Dumas, A., Wick, L.Y., Yergeau, E.I. i Berthome, R. (2015). "Omics" Insights into PAH Degradation toward Improved Green Remediation Biotechnologies. *Environmental Science & Technology*, 49(19), 11281-11291.

Harkot, W., Wylupek, T. i Czarnecki, Z. (2005). Trawy na poboczach wybranych dróg Lubelszczyzny. *Ląkarstwo w Polsce (Grassland Science in Poland)*, 8, 71-80.

Gmitrzuk, N. (2013). Związki ropopochodne w olejach różnego typu. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 16(4), 477-486.

Gmitrzuk, N. i Dąbrowski, P. (2015). Seeds Germination of selected grass species on the substrate heavily contaminated with petroleum oils – laboratory tests. *PhD Interdisciplinary Journal*, 1, 167-174.

Karta charakterystyki oleju napędowego BP Diesel Fuel.

Lista odmian roślin rolniczych wpisanych do krajowego rejestru w Polsce (2015). Słupia Wielka.

Małachowska-Jutsz, A. (2008). Mikoryzacja roślin a efektywność fitoremediacji gruntów zanieczyszczonych węglowodorami. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Inżynieria Środowiska* 161.

Małachowska-Jutsz, A. i Miksz, K. (2010). Przydatność wybranych bioindykatorów do oceny efektywności bioremediacji gruntów zanieczyszczonych węglowodorami. *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk* 54.

Małuszyński, M.J. i Małuszyńska, I. (2009). Odporność wybranych gatunków roślin na zanieczyszczenia gleby przeparowanym olejem silnikowym. *Inżynieria Ekologiczna*, 21, 40-47.

Olifrowicz, J. (2015). Wpływ substancji ropopochodnych na kiełkowanie nasion wybranych roślin motylkowych. Praca magisterska. SGGW.

Pawluk, K. i Garbulewski, K. (2015). Inwestycje drogowe – zagrożenia i zabezpieczenia.

- W: red. B. Pawluśkiewicz, Gospodarowanie w dolinach rzecznych na obszarach Natura 2000 – problemy działalności inwestycyjnej (strony 67-81). Warszawa: Wydawnictwo SGGW.
- Pawluśkiewicz, B. (2007). The usefulness of lawn grasses for saline soils turfing in communication routes surrounding. *Polish Journal of Environmental Studies* 16, 396-399.
- Pawluśkiewicz, B. (2009). Analiza możliwości wykorzystania gazownowych odmian traw do poprawy powierzchni trawiastych na obszarach zurbanizowanych. Warszawa: Wydawnictwo SGGW.
- Pawluśkiewicz, B. i Gutkowska, A. (2005). Występowanie zbiorowisk trawiastych na rekultywowanym składowisku popiołów elektrownianych. *Łąkarstwo w Polsce (Grassland Science in Poland)* 8, 165-172.
- Pawluśkiewicz, M. i Rutkowska, B. (1996). Trawniki. Warszawa: PWRiL.
- Pietrzyk, K. (2015). Wpływ naftalenu i fluorante- nu na kiełkowanie wybranych gatunków traw gazonowych. Praca magisterska. Warszawa.
- Poluszyńska, J. (2013). Ocena możliwości zanieczyszczenia środowiska glebowo-gruntowego wielopierścieniowymi węglowodora- mi aromatycznymi (WWA) zawartymi w popiołach lotnych pochodzących z kotłó- w energetycznych. *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych*, 12, 6, 60-71.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z 9 wrze- śnia 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. z 2002 r. nr 165 poz. 1359).
- Smreczak, B. i Maliszewska-Kordybach, B. (2000). Ecotoxicological activity of soils pol- luted with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) – effect on plants. *Environmental Technology*, 1099-1110.
- Smreczak B. i Maliszewska – Kordybach, B. (2003). Seeds germination and Root growth of selected plants in PAH contaminated soil. *Fresenius Environmental Bulletin*, 12(8), 946-949.
- Tian, W., Zhao, J., Zhou, Y., Qiao, K., Jin, X. i Liu, Q. (2017). Effects of root exudates on gel-beads/reeds combination remediation of high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons. *Ecotoxicology and Environ- mental Safety*, 135, 158-164.
- Wolski, K., Kotecki, A., Spiak, Z., Chodak, T. i Bujak, H. (2006). Ocena wstępna możliwo- ści wykorzystania kilkunastu gatunków traw w stabilizacji skarp obwałowań składowiska „Żelazny Most” w Rudnej. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Rolnictwo*, 88 (545).
- Wysocki, Cz. i Stawicka, J. (2005). Trawy na tere- nach zurbanizowanych. *Łąkarstwo w Polsce (Grassland Science in Poland)*, 8, 293-300.
- Wytyczne zakładania i utrzymania zieleni przy- drożnej na potrzeby Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (2013). War- szawa: Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad.

## Streszczenie

**Wpływ oleju napędowego i naftalenu na początkowy wzrost i rozwój kostrzewy czerwonej (*Festuca rubra* L. ssp. *commu- tata*).** Celem badań było określenie wpły- wu oleju napędowego (ON) na początkowy wzrost i rozwój *Festuca rubra* L. ssp. *commu- tata* odmiany Musica oraz naftalenu (Nf) na te same cechy odmiany Nimba. Stwierdzono m.in., że badane parametry istotnie różniły się w stosunku do kontroli, ale w większości przypadków brak było różnic między nimi. Naftalen spowodował w większym stopniu ograniczenie wzrostu korzenia zarodkowego, ale w mniejszym niż olej napędowy hamo- wał wzrost części nadziemnych. Zdolności kiełkowania badanych odmian były podobne i wynosiły: dla odmiany Musica i ON 23 i 21% odpowiednio do dawek, a dla odmiany Nimba i Nf – 25 i 23%.

## Summary

**The impact of diesel and naphthalene on the initial growth and development of red fescue (*Festuca rubra* L. ssp. *commu- tata*).** The aim of the study was to determine the effect of diesel fuel (ON) on the germination of seeds and seedlings condition of

*Festuca rubra* L. ssp. *commutata* variety Musica and naphthalene (Nf) on the same characteristics of the variety Nimba. It was concluded, the test parameters were significantly different in comparison to the control, but in most cases, there was no difference between them. Naphthalene caused more root embryo growth limitation, but less than diesel, inhibited the growth of aboveground parts. Germination capacity tested varieties were similar and were as follows: for Musica and ON 23 and 21% respectively to doses, and to Nimba variety and Nf – 25 and 23%.

**Authors' address:**

Natalia Gmitrzuk, Piotr Dąbrowski, Katarzyna Pietrzyk, Bogumiła Pawluśkiewicz  
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
SGGW  
Katedra Kształtowania Środowiska  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
Poland  
e-mail: natalia\_gmitrzuk@sggw.pl  
piotr\_dabrowski@sggw.pl  
bogumiła\_pawluskiewicz@sggw.pl