

MAŁGORZATA SŁAWSKA, MAREK SŁAWSKI

## Czy zakładanie upraw dębowych metodą biologicznej racjonalizacji sprzyja zachowaniu leśnych zgrupowań skoczogonków (Collembola, Hexapoda)?

Does alternative methods of oak plantations establishment create favourable conditions for forest collembolan assemblages (Collembola, Hexapoda)?

### ABSTRACT

Sławska M., Sławski M. 2018. Czy zakładanie upraw dębowych metodą biologicznej racjonalizacji sprzyja zachowaniu leśnych zgrupowań skoczogonków (Collembola, Hexapoda)? Sylwan 162 (7): 580-589.

Alternative methods of oak cultivation aim at reducing the cost of establishment of young plantations and decrease in the expenditure on their tending. In these methods, the corridors consisting of oak seedlings planted in the rows or isolated groups of twenty six seedlings are enclosed by stripes or patches without intervention left for natural succession. The restriction in site preparation on these areas and spontaneous development of young generation of trees are assumed to create favourable conditions for many forest organisms and, in results, significantly improve biological diversity of the managed forests. The aim of the study was to recognize the response of forest collembolan assemblages on alternative methods of establishment of oak plantations. The study was performed in the Forest Experimental Station in Rogów (Central Poland). In a mature stand on moderately humid mixed deciduous forest site, on clear-cut and on oak young plantations made by corridor and tree groups methods, fifteen study plots were established. In case of young plantations, these plots encompassed both artificially planted corridors or tree groups and adjacent fragments of plantation left for natural succession. Soil samples were taken in June and September 2014 and, using a simplified Tullgren apparatus, 18 thousands of collembolan specimens belonging to 84 taxa were identified. Our study proved that clear-cut and site preparation by rotary tiller on moderately humid mixed deciduous forest had a negative impact on Collembola assemblages, because caused a reduction in species number and abundance. However, the establishment of oak plantations by alternative methods, consisting in abandonment an artificial planting on some patches of renewed plots, significantly mitigate negative effects of clear-cut and reforestation on collembolan assemblages. The species number and abundance of springtails on patches left for spontaneous succession were distinctly higher than in artificially planted corridors or groups of trees in case of all studied plantations. Furthermore, it seems that corridor method in oak plantations establishment is advantageous for forest springtails, because the number of specimens per square meter on corridor plantation was higher than in tree group method. The beneficial effect on soil fauna of alternative methods of oak cultivation described in this paper weighs in favour of their wider application in silviculture.

### KEY WORDS

oak cultivation, corridor and tree group methods, soil fauna, species richness, abundance

## ADDRESSES

Małgorzata Sławska – e-mail: malgorzata\_slawska@sggw.pl

Marek Sławski – e-mail: marek\_slawski@sggw.pl

Katedra Ochrony Lasu i Ekologii, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

## Wstęp

Alternatywne metody hodowli dębu oparte na biologicznej racjonalizacji mają na celu redukcję kosztów na etapie zakładania upraw oraz zmniejszenie nakładów na ich pielęgnację. Według Andrzejczyka [2011, 2013] na szczególną uwagę zasługują dwie metody zakładania upraw dębowych: korytarzowa i grupowa. Pierwsza z nich to stare rozwiązanie Mołczanowa stosowane pod koniec XIX wieku na Ukrainie, druga metoda została opracowana na przełomie XX i XXI wieku w Niemczech. Obie metody, oprócz korzyści hodowlanych i ekonomicznych, wydają się mieć również zalety przyrodniczo-ekologiczne. Założone metodą korytarzową lub grupową młode drzewostany dębowe mogą znacząco zwiększyć różnorodność biologiczną lasów dzięki obecności w ich składzie spontanicznie wyrosłych pionierskich gatunków drzew. Obecność wczesnych stadiów sukcesyjnych wzbogaci lasy zagospodarowane w te rzadkie w ich obrębie zbiorowiska, urozmaici strukturę powstałych drzewostanów i stworzy warunki bytowania różnym organizmom. Z punktu widzenia zachowania różnorodności biologicznej ważną zaletą obu metod jest mniejsza niż w tradycyjnych sposobach odnowienia ingerencja w środowisko glebowe – dzięki zmniejszeniu rozmiaru przygotowania gleby. Pozostawienie płatów gleby bez naruszenia jej struktury do naturalnej sukcesji roślinnej może mieć kluczowe znaczenie dla przetrwania leśnych zespołów bezkręgowców glebowych. Fauna glebowa zasiedlająca lasy składa się z licznych i zróżnicowanych taksonów reprezentowanych przez tysiące osobników na 1 m<sup>2</sup> gleby [Lavelle, Spain 2001], z których większość jest bardzo wrażliwa na zmiany wynikające z pozyskania i odnowienia drzewostanów. Występujące bardzo licznie w lasach strefy umiarkowanej skoczogonki, będące ważnym elementem glebowej sieci troficznej [Sławska 2004; Eisenhauer i in. 2011], cechuje znaczna wrażliwość w tym względzie [Chauvat i in. 2003]. Redukcja bogactwa gatunkowego fauny glebowej oznacza istotne zubożenie różnorodności biologicznej lasów. Ponadto ograniczenie aktywności bezkręgowców zaangażowanych w proces dekompozycji może prowadzić do spowolnienia procesów istotnych dla podtrzymania żyzności siedlisk i w konsekwencji ich zdolności produkcyjnych [Verhoef, Brussaard 1990; Chapin i in. 1997; Eisenhauer i in. 2011].

Głównym celem pracy było poznanie reakcji leśnych zgrupowań skoczogonków na alternatywne rozwiązania w sposobie zakładania i prowadzenia upraw dębowych zwanych metodami biologicznej racjonalizacji. Założenie przez Katedrę Hodowli Lasu na terenie Lasów Doświadczalnych SGGW w Rogowie powierzchni doświadczalnych stworzyło doskonałą okazję do sprawdzenia, czy metody te pozwalają na zachowanie bogactwa gatunkowego i liczebności zgrupowań w stopniu większym niż tradycyjnie stosowane rozwiązania. W pracy postawiono następujące hipotezy:

1. Usunięcie drzewostanu i odnowienie poprzedzone przygotowaniem gleby ma negatywny wpływ na zgrupowania skoczogonków siedlisk lasowych.
2. Założenie upraw dębowych metodami biologicznej racjonalizacji łagodzi negatywny wpływ pozyskania i odnowienia lasu na zgrupowania skoczogonków.
3. Korytarzowa i grupowa metoda zakładania upraw dębowych nie różnią się w skutkach dla leśnych zgrupowań skoczogonków.

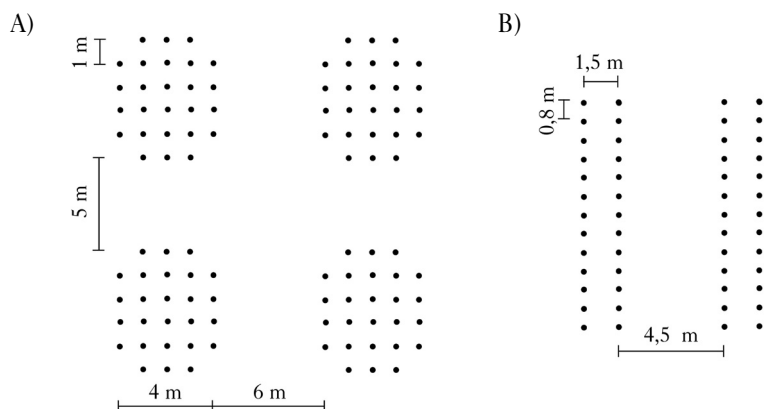
## Materiał i metody

Lasy Nadleśnictwa Rogów leżą w zachodniej części Wysoczyzny Rawskiej położonej na wysokości od 215 do 220 m n.p.m. W podłożu przeważają utwory polodowcowe złożone z glin i piasków zwałowych, przykryte przez pyły pochodzenia eolicznego, na których wykształciły się żyzne, ale kwaśne gleby płowe [Konecka-Betley i in. 1993]. Poziom wód gruntowych jest bardzo niski, zwykle poza zasięgiem korzeni drzew. Średnia roczna suma opadów wynosi 591 mm, z czego około 65% przypada na okres wegetacyjny. Średnia roczna temperatura powietrza wynosi 7,5°C, przy czym najzimniejszym miesiącem jest styczeń (średnia miesięczna temperatura powietrza -2,7°), a najcieplejszym lipiec (17,6°C). Okres wegetacyjny trwa 205-215 dni i obejmuje miesiące od kwietnia do października. Średnia temperatura powietrza w okresie wegetacyjnym wynosi 12,8°C [Bednarek 1993].

Powierzchnie badawcze założono w centralnej części Uroczyska Zimna Woda na uprawach będących powierzchniami doświadczalnymi Katedry Hodowli Lasu SGGW. Pierwsza z upraw, położona w oddziale 137, została założona na zrębie zupełnym metodą korytarzową w 2012 roku. Sztuczne odnowienie przez posadzenie dwuletnich sadzonek dębu zostało wykonane tylko na części powierzchni w formie w korytarzy z dwoma rzędami dębu (ryc. 1), które posadzono po uprzednim przygotowaniu gleby frezem. W runie odnowionych korytarzy dominował trzcinnik leśny. Przestrzenie między korytarzami pozostawiono do naturalnej sukcesji, nie stosując żadnego przygotowania gleby. W roku prowadzenia badań na pasach bujnie rozwinęły się malina (40%) i trzcinnik leśny (40%), którym towarzyszyły pojedyncze graby, brzozy, osiki i leszczyna.

Drugą uprawę, zlokalizowaną w oddziale 148, założono na zrębie zupełnym w roku 2010. Na połowie powierzchni do odnowienia posadzono dąb opisaną wyżej metodą korytarzową. W korytarzach, w których glebę przygotowano frezem, oprócz młodych dębów zajmujących 30% powierzchni duży udział miał grab (40% pokrycia), a w runie dominowały trzcinnik leśny (30%) i jeżyna (10%). Na pasach pozostawionych do naturalnej sukcesji w roku prowadzenia badań dominował grab zajmujący 70% powierzchni, któremu towarzyszyły brzoza i leszczyna.

Na drugiej połowie tej samej uprawy zastosowano grupową metodę odnowienia dębu. Istotą tej metody jest wysadzenie dębu w izolowanych grupach (ryc. 1). W trzech rzędach (zewnętrznych i środkowym) glebę przygotowano frezem, a pomiędzy rzędami wykonano talerze. W gru-



Ryc. 1.

Schemat rozmieszczenia młodych dębów na uprawie założonej metodą grupową (A) i korytarzową (B)  
Arrangement of young oaks on plantations established by group (A) and corridor (B) method

pach ze sztucznym odnowieniem dębowym, pokrywającym około 35% powierzchni, dominował w runie trzcinnik leśny. Przestrzenie między grupami dębowymi pozostawiono do naturalnej sukcesji bez ingerencji w pokrywą gleby. W roku prowadzenia badań rosły na nich młode brzozy i graby oraz leszczyna, pokrywające łącznie około 70% powierzchni. Pielęgnacja upraw, polegająca na koszeniu i wycinaniu nalotów drzew i krzewów, wykonywana była tylko w bezpośrednim otoczeniu sztucznego odnowienia dębowego, czyli w korytarzach i w grupach.

Na uprawie w oddziale 137, oznaczonej w badaniach jako uprawa młodsza korytarzowa (MK), założono trzy powierzchnie badawcze o rozmiarach 8×8 m. Każda z nich obejmowała zasięgiem sztuczne odnowienie dębowe (symbol wariantu MKDb) oraz przylegający do niego pas powierzchni pozostawionej do spontanicznej sukcesji (symbol wariantu MKn).

Trzy analogiczne powierzchnie wyznaczono na starszej uprawie korytarzowej (SK) w oddziale 148, a kolejne trzy powierzchnie w tym samym wydzieleniu w drugiej części uprawy odnowionej metodą grupową (SG). Warianty na starszej uprawie korytarzowej oznaczono jako SKDb w przypadku sztucznego odnowienia i SKn w odniesieniu do pasów między rzędami pozostawionych do naturalnej sukcesji. Próby pobrane w grupach dębu na starszej uprawie założonej metodą grupową oznaczono jako SGDb, a próby z powierzchni pozostawionej bez ingerencji jako SGn.

Kolejne powierzchnie badawcze położone w sąsiedztwie upraw reprezentowały drzewostan dojrzały (D) oraz powierzchnię, na której wykonano zręb zupełny (Z). Ponadstuletni drzewostan na siedlisku lasu mieszanego świeżego w oddziale 134 o zadrzewieniu 0,8 składał się głównie z sosny oraz gatunków domieszkowych, takich jak dąb, świerk i jodła. W runie dominowały zawilec gajowy i szczawik zajęczy. Identyczny drzewostan rósł w oddziale 135, w którym w 2013 wycięto zręb na powierzchni około 2 ha i w kolejnym roku założono uprawę po wcześniejszym przygotowaniu gleby frezem. Na uprawie posadzono buk z niewielką domieszką brzozy. W runie występowały malina, niecierpek drobnokwiatowy, starzec leśny i zawilec gajowy. Łączne pokrycie runa wynosiło około 30%. W obu oddziałach, czyli w dojrzałym drzewostanie (D) i na powierzchni zrębowej (Z), wyznaczono po 3 powierzchnie o rozmiarach 8×8 m.

Na wszystkich 15 powierzchniach reprezentujących 5 wariantów (MK, SK, SG, D i Z) w trzech powtórzeniach zebrano próby glebowe 13.06 i 23.09.2014 roku. Jednorazowo na każdej powierzchni pobrano 3 serie prób składających się z pięciu rdzeni glebowych o średnicy 5 cm i długości 15 cm. Wierzchnia warstwa ściółki i roślinność nie były usuwane. Skoczogonki wypłoszone z prób glebowych w uproszczonym aparacie Tullgrena. Materiał faunistyczny po posortowaniu został oznaczony do gatunku, a w przypadku juwenilnych osobników do taksonów wyższego rzędu i policzony.

Analizie poddano średnią liczbę taksonów i średnie zagęszczenia zgrupowań. Dane dotyczące liczby taksonów były zgodne z rozkładem normalnym (test Shapiro-Wilka;  $W=0,98$ ,  $p=0,256$ ). Dane dotyczące zagęszczenia osobników na metr kwadratowy odbiegały od rozkładu normalnego (test Shapiro-Wilka;  $W=0,94$ ,  $p=0,002$ ), dlatego zostały podane transformacji przez obliczenie pierwiastka kwadratowego z zagęszczeń. Rozkład zagęszczenia po transformacji nie odbiegał od rozkładu normalnego (test Shapiro-Wilka;  $W=0,98$ ,  $p=0,363$ ). Tak transformowane dane podano analizie, wykorzystując ogólny model liniowy (GLM) dla układów zagnieżdżonych (ANOVA). Przeanalizowano następujące czynniki: powierzchnia, sztuczne odnowienie i naturalna sukcesja, metoda korytarzowa i grupowa. Celem zidentyfikowania, które z wariantów doświadczania różni się istotnie pod względem badanych cech, zastosowano analizę *post-hoc* testem Duncana. Powyższe analizy statystyczne przeprowadzono z wykorzystaniem programu Statistica 12. Różnice między zgrupowaniami Collembola przedstawiono za pomocą niemetrycznego skalowania wielowymiarowego (NMDS). Powyższa analiza posłużyła do określenia tendencji zmian zgrupowań

w poszczególnych wariantach doświadczenia. Podstawą NMMDS było podobieństwo zgrupowań wyrażone liczbą Jaccarda. Obliczeń dokonano w pakiecie PAST3.19 [Hammer in. 2001].

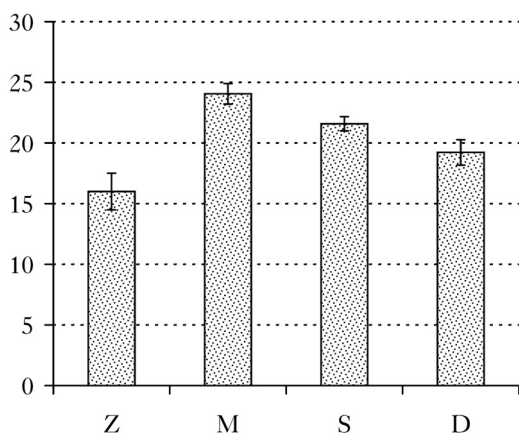
## Wyniki

Na powierzchniach badawczych odłowiono łącznie ponad 18 tys. osobników skoczogonków należących do 84 taksonów. Najwięcej taksonów stwierdzono na młodszej uprawie, a najmniej na powierzchni zrębowej (ryc. 2). Różnice w liczbie odłowionych taksonów na poszczególnych powierzchniach okazały się istotne statystycznie ( $F=13,87$ ,  $p<0,001$ ). Test Duncana wykazał, że liczba taksonów na zrębie jest istotnie niższa niż na pozostałych powierzchniach. Stwierdzono również, że w młodszej uprawie było istotnie więcej taksonów niż w dojrzałym drzewostanie. Nie udało się potwierdzić istotności różnic liczby taksonów występujących w dojrzałym drzewostanie i w starszej uprawie.

Analiza statystyczna wykazała istotne różnice w liczbie taksonów pomiędzy fragmentami upraw pozostawionymi do naturalnej sukcesji i odnowionymi sztucznie ( $F=3,93$ ,  $p=0,026$ ). Na wszystkich badanych uprawach średnia liczba taksonów skoczogonków we fragmentach pozostawionych do naturalnej sukcesji była większa niż w korytarzach lub grupach ze sztucznym odnowieniem dębowym (ryc. 3). Na starszej uprawie liczba taksonów była istotnie wyższa w płatach pozostawionych do naturalnej sukcesji niż na odnowionych sztucznie fragmentach, co potwierdził test Duncana. W odniesieniu do młodszej uprawy nie wykazano istotności różnic.

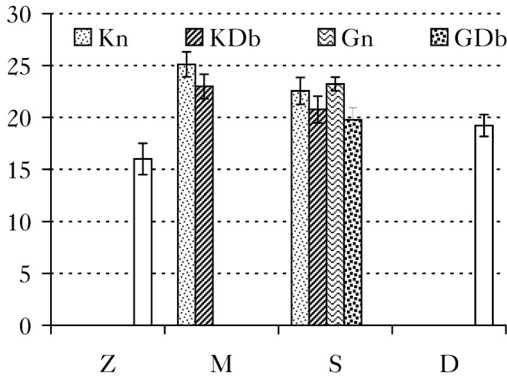
Rodzaj zastosowanej metody odnowienia okazał się nieistotny dla bogactwa gatunkowego zgrupowań, gdyż nie stwierdzono istotnych różnic między metodą korytarzową a grupową na starszej uprawie ( $F=0,31$ ,  $p=0,73$ ), chociaż liczba taksonów w metodzie korytarzowej była wyższa niż w grupowej.

Zagęszczenie skoczogonków na powierzchni zrębu było istotnie niższe niż na pozostałych powierzchniach ( $F=4,12$ ,  $p=0,001$ ) (ryc. 3). W przypadku badanych upraw istotnie więcej osobników stwierdzono w płatach pozostawionych do naturalnej sukcesji niż w korytarzach lub grupach sztucznego odnowienia dębowego ( $F=4,69$ ;  $p=0,014$ ). Prawidłowość ta była obserwowana na uprawie młodszej i starszej (ryc. 5). Test Duncana potwierdził tę zależność w przypadku uprawy starszej, zaś dla uprawy młodszej różnice nie były istotne statystycznie. Nieistotne okazały się różnice w zagęszczeniu skoczogonków między metodą korytarzową i grupową w przypadku starszej uprawy ( $F=1,02$ ,  $p=0,36$ ).



Ryc. 2.

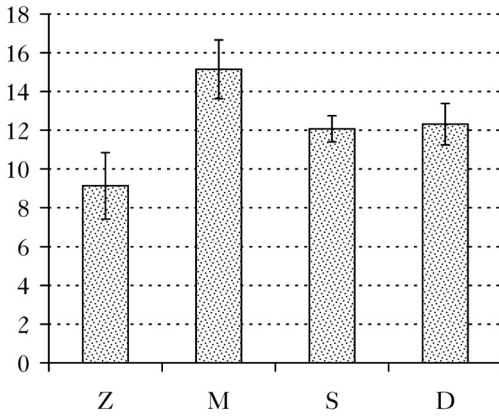
Średnia (słupek)  $\pm$  błąd standardowy (wąsy) liczba taksonów skoczogonków na powierzchni zrębowej (Z), młodszej (M) i starszej (S) uprawie oraz w dojrzałym drzewostanie (D)  
Mean (bar)  $\pm$  standard error (whiskers) number of Collembola taxa on clear-cut (Z), younger plantation (M), older plantation (S) and in mature tree stand (D)



Ryc. 3.

Średnia (słupki)  $\pm$  błąd standardowy (wąsy) liczba taksonów skoczogonków w sztucznie odnowionych korytarzach dębowych (KDb) i grupach dębu (GDb) oraz w pasach (Kn) lub platach (Gn) pozostawionych do naturalnej sukcesji na uprawie młodszej (M) i uprawie starszej (S) w porównaniu do powierzchni zrębowej (Z) i dojrzałego drzewostanu (D)

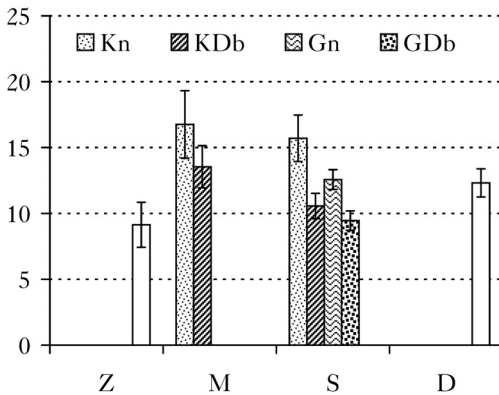
Mean (bar)  $\pm$  standard error (whiskers) number of Collembola taxa on artificially regenerated corridors of oak (KDb) and oak groups (GDb) and in stripes (Kn) or patches (Gn) left for natural succession on younger plantation (M) and older plantation (S) in comparison to clear-cut (Z) and mature tree stand (D)



Ryc. 4.

Średnie (słupki)  $\pm$  błąd standardowy (wąsy) zagęszczenie skoczogonków [tys. os./m<sup>2</sup>] na powierzchni zrębowej (Z), młodszej (M) i starszej (S) uprawie oraz w dojrzałym drzewostanie (D)

Mean (bar)  $\pm$  standard error (whiskers) abundance [1000 $\times$ ind./m<sup>2</sup>] of Collembola on clear-cut area (Z), younger plantation (M), older plantation (S) and in mature tree stand (D)

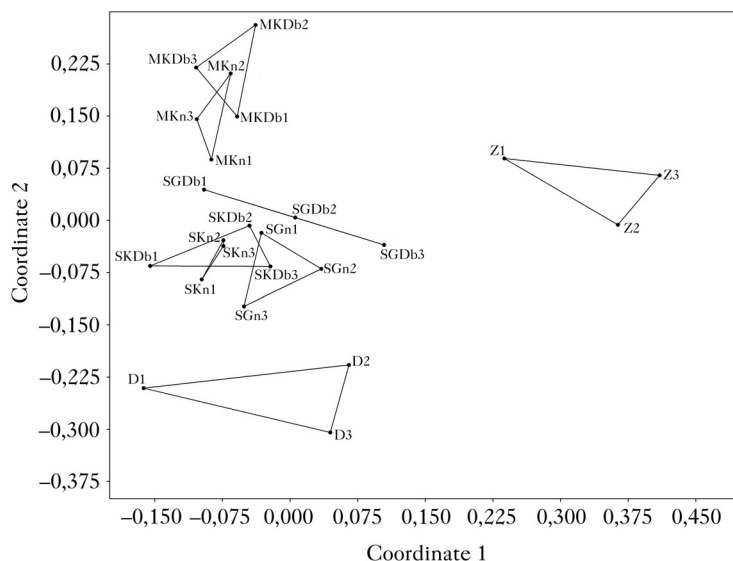


Ryc. 5.

Średnie (słupki)  $\pm$  błąd standardowy (wąsy) zagęszczenie skoczogonków [tys. os./m<sup>2</sup>] w sztucznie odnowionych korytarzach dębowych (KDb) i grupach dębu (GDb) oraz w pasach (Kn) lub platach (Gn) pozostawionych do naturalnej sukcesji na uprawie młodszej (M) i uprawie starszej (S) w porównaniu do powierzchni zrębowej (Z) i dojrzałego drzewostanu (D)

Mean (bar)  $\pm$  standard error (whiskers) abundance [1000 $\times$ ind./m<sup>2</sup>] of Collembola on artificially regenerated corridors of oak (KDb) and oak groups (GDb) and in stripes (Kn) or patches (Gn) left for natural succession on younger plantation (M) and older plantation (S) in comparison to clear-cut (Z) and mature tree stand (D)

Przeprowadzona analiza NMMDS z użyciem liczby Jaccarda wykazała, że ordynacja zgrupowań ma duży związek z dwiema pierwszymi osiami (stres 0,16). Uporządkowanie powierzchni na diagramie (ryc. 6) wskazuje na wyraźne różnice między zgrupowaniami Collembola zrębu (Z1, Z2, Z3) i zgrupowaniami dojrzałego drzewostanu (D1, D2, D3). Świadczy o tym ich skrajne położenie w górnej części diagramu, podczas gdy zgrupowania drzewostanu zajmują skrajne dolne położenie. Zgrupowania zrębu nie są podobne również do fauny żadnej z badanych upraw.



Ryc. 6.

Uporządkowanie zgrupowań metodą NMMDS wyrażone współczynnikiem podobieństwa Jaccarda  
 Ordination of collembolan assemblages by NMMDS expressed by Jaccard index

Zgrupowania młodszej uprawy (położone w lewej górnej ćwiartce diagramu), a zwłaszcza zgrupowania sztucznie odnowionych korytarzy dębowych (MKDb), są najmniej podobne do zgrupowań drzewostanu. Wszystkie starsze uprawy zajmują pozycję pośrednią między młodszymi uprawami a drzewostanem. W przypadku wszystkich trzech upraw zgrupowania skoczogonków na płatach pozostawionych do naturalnej sukcesji zwykle położone są bliżej dojrzałego drzewostanu niż korytarze lub grupy sztucznego odnowienia dębowego.

## Dyskusja

Reakcja ściółkowo-glebowych skoczogonków na usunięcie drzewostanu i odnowienie na siedlisku lasowym jest problemem słabo rozpoznany, ponieważ dotychczasowe badania skutków zrębów zupełnych koncentrowały się na zmianach w faunie glebowej borów zagospodarowanych zrębem zupełnym. W lasach strefy umiarkowanej i borealnej Europie standardową odpowiedzią wielu taksonów glebowych na ten rodzaj zagospodarowania jest redukcja bogactwa gatunkowego i zagęszczenia zgrupowań [Huhta 1976; Chauvat i in. 2003; Siira-Pietikäinen, Haimi 2009]. Obserwowany regres wydaje się być szczególnie głęboki na siedliskach bardzo ubogich, ale ma miejsce również w borach mieszanych [Sławska 2002a]. Na tej podstawie spodziewano się, że również w przypadku lasu mieszanego świeżego wycięcie drzewostanu i odnowienie poprzedzone przygotowaniem gleby doprowadzi do zmian w składzie i strukturze zgrupowań skoczogonków. W przedstawionych badaniach hipoteza ta została w pełni potwierdzona. Zarówno pod względem liczby taksonów, jak i zagęszczenia zgrupowania skoczogonków na zrębie wyraźnie odbiegały od pozostałych powierzchni. Obserwacje te korespondują z wynikami badań prowadzonych w lasach mieszanych Ameryki Północnej i Japonii [Setälä, Marshall 1994; Addison 1996; Hasegawa i in. 2006]. W tym świetle poszukiwanie nowych rozwiązań w sposobach odnawiania lasu, nastawionych na minimalizację szkód w środowisku glebowym, jest jak najbardziej uzasadnione.

Z przeprowadzonych na terenie LZD Rogów badań wynika, że zakładanie upraw dębowych metodami biologicznej racjonalizacji, polegające na odejściu od przygotowania gleby i sadzenia na całej powierzchni, wyraźnie złagodziło negatywny wpływ pozyskania i odnowienia lasu na zgrupowania skoczogonków. W przypadku wszystkich trzech wariantów doświadczenia liczba gatunków i zagęszczenie skoczogonków na 1 m<sup>2</sup> w pasach lub płatach, które pozostawiono do naturalnej sukcesji, było wyraźnie wyższe niż w korytarzach czy grupach drzew posadzonych sztucznie. Wydaje się, że kluczowe znaczenie dla przeżycia tych drobnych bezkręgowców na otwartej powierzchni zrębowej miało zaniechanie ingerencji w strukturę wierzchnich warstw gleby i roślinność runa znacznych części upraw wyłączonych ze sztucznego odnowienia. Wcześniejsze badania wykazały, że przygotowanie gleby przed sztucznym odnowieniem stanowi silne zaburzenie dla środowiska glebowego oraz ogranicza występowanie większości żyjących w nim taksonów Collembola [Schrader, Lingnau 1997; Dittmer, Schrader 2000; Kladvík 2001]. Ponadto wykazano, że reakcja leśnych zgrupowań skoczogonków jest proporcjonalna do rozmiaru zniszczenia struktury wierzchnich warstw gleby [Sławska 2002b; Battigelli i in. 2004]. Drugim czynnikiem mającym silny negatywny wpływ na ściółkowo-glebowe skoczogonki są warunki mikroklimatyczne otwartej powierzchni zrębowej. Wzrost temperatury gleby i spadek jej wilgotności oraz duże wahania obu parametrów wpływają ograniczająco na aktywność mikrobiologiczną gleb na zrębach i w efekcie przeżywalność wielu gatunków skoczogonków, gdyż jest to grupa bardzo wrażliwa na niedobór wilgoci [Kuznetsova 2003; Sławska, Sławski 2017]. W przypadku badanych upraw spontaniczny rozwój roślinności na pasach między korytarzami i płatach otaczających grupy sztucznie posadzonego dębu zapewnił osłonę gleby i w ten sposób złagodził negatywny wpływ usunięcia drzewostanu na mikroklimat upraw.

Ze względu na brak na terenie kompleksu Zimna Woda upraw założonych metodą tradycyjną (przez sztuczne odnowienie na całej powierzchni w wieku analogicznym do powierzchni doświadczalnych) przyjęto, że stan zgrupowań Collembola w posadzonych korytarzach dębowych i grupach dębu odpowiada faunie upraw tradycyjnych. Jednakże na dużych sztucznie odnowionych powierzchniach mogłyby zajść znacznie większe negatywne zmiany w zgrupowaniach skoczogonków niż te obserwowane na badanych uprawach i w efekcie dystans między fauną glebową upraw założonych metodami biologicznej racjonalizacji a tradycyjnymi rozwiązaniami byłby znacznie większy. Przemawiają za tym wyniki NMDS, w którym zgrupowania powierzchni zrębowej wyraźnie odbiegają nie tylko od dojrzałego drzewostanu, ale też od dwu- i czteroletniej uprawy dębowej będących zaledwie kilka lat temu zrębami, na których wycięto cały drzewostan. Może to świadczyć o mniejszych zmianach w strukturze zgrupowań upraw, na których nie doszło do przygotowania gleby na całej powierzchni. Mając na uwadze wyniki przeprowadzonych badań oraz powyższe uwagi, należy stwierdzić, że druga hipoteza niniejszej pracy została zweryfikowana pozytywnie. W ten sposób po raz pierwszy wykazano, że stosując alternatywne metody zakładania upraw, można chronić leśną faunę glebową, której zachowaniu sprzyja wykorzystanie procesów spontanicznej regeneracji roślinności na powierzchniach zrębowych.

Podjęmowane dotychczas próby ochrony fauny glebowej w trakcie użytkowania rębego polegały na modyfikacji sposobu zakładania zrębów przez wykonywanie rębni częściowych lub pozostawianie na zrębach zupełnych kęp starodrzewu. Istnieją przesłanki, że tego typu modyfikacje mają pozytywny wpływ na bezkręgowce glebowe [Addison 1996; Sławska 2002a; Siira-Pietikäinen i in. 2003; Siira-Pietikäinen, Haimi 2009]. W przytoczonych przypadkach fauna glebowa znajdowała schronienie na powierzchniach, na których nie wycięto drzew i pozostawiono glebę bez ingerencji, zatem odbywało się to kosztem zmniejszenia rozmiaru użytkowania.



Opisywane w niniejszej pracy alternatywne metody odnawiania dębu nie narzucają tego typu ograniczeń.

W trzeciej hipotezie założono, że dla bardzo małych bezkręgowców, jakimi są Collembola, przestrzenna aranżacja odnowienia sztucznego i płatów pozostawionych do naturalnej sukcesji nie ma większego znaczenia. Hipoteza ta została zweryfikowana pozytywnie, gdyż różnice w zagęszczeniu skoczogonków między metodą korytarzową i grupową okazały się nieistotne statystycznie. Jednakże odnotowane w badaniach wyższe zagęszczenie zgrupowań w metodzie korytarzowej niż grupowej w przypadku starszej uprawy, zwłaszcza na pasach pozostawionych do naturalnej sukcesji, może oznaczać, że w przyszłości różnice te mogą się pogłębić, gdyż czas ma kluczowe znaczenie w regeneracji fauny glebowej. Udokumentowany w pracy pozytywny wpływ alternatywnych metod zakładania upraw dębowych na faunę glebową przemawia za ich szerszym stosowaniem w odnowieniu dębu.

## Literatura

- Addison J. A. 1996. Harvesting and site preparation impacts on soil microarthropods. W: Smith C. R., Crook G. W. [red.]. *Advancing Boreal Mixedwood Management in Ontario: Proceedings of a Workshop*. 186-189.
- Andrzejczyk T. 2011. Biologiczna racjonalizacja w hodowli dębu. W: Paluch R. [red.]. *Półnaturalna hodowla lasu – przeszłość, teraźniejszość i przyszłość*. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary. 103-118.
- Andrzejczyk T. 2013. Zakładanie upraw dębowych oparte na biologicznej racjonalizacji. *Las Polski* 5: 14-16.
- Battigelli J. P., Spence J. R., Langor D. W., Berch S. M. 2004. Short-term impact of forest soil compaction and organic matter removal on soil mesofauna density and oribatid mite diversity. *Canadian Journal of Forest Research* 34: 1136-1149.
- Bednarek A. 1993. Warunki fizjograficzne. Klimat. W: Zielony R. [red.]. *Warunki przyrodnicze lasów doświadczalnych SGGW w Rogowie*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa. 24-41.
- Chapin F. S., Walker B. H., Hobbs R. J., Hooper D. U., Lawton J. H., Sala O. E., Tilman D. 1997. Biotic control over the functioning of ecosystems. *Science* 277 (5325): 500-504.
- Chauvat M., Zaitsev A. S., Wolters V. 2003. Successional changes of Collembola and soil microbiota during forest rotation. *Oecologia* 137 (2): 269-276.
- Dittmer S., Schrader S. 2000. Longterm effects of soil compaction and tillage on Collembola and straw decomposition in arable soil. *Pedobiologia* 44: 527-538.
- Eisenhauer N., Sabais A. C., Scheu S. 2011. Collembola species composition and diversity effects on ecosystem functioning vary with plant functional group identity. *Soil Biology and Biochemistry* 43 (8): 1697-1704.
- Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4 (1): 9.
- Hasegawa M., Fukuyama K., Makino S. I., Okochi I., Goto H., Mizoguchi T., Sakata T., Tanaka H. 2006. Collembolan community dynamics during deciduous forests regeneration in Japan. *Pedobiologia* 50 (2): 117-126.
- Huhta V. 1976. Effects of clear-cutting on numbers, biomass and community respiration of soil invertebrates. *Ann. Zool. Fennica* 13: 63-80.
- Kladivko E. J. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research* 61 (1): 61-76.
- Konecka-Betley K., Czepińska-Kamińska D., Janowska E. 1993. Gleby – właściwości i typologia. W: Zielony R. [red.]. *Warunki przyrodnicze lasów doświadczalnych SGGW w Rogowie*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa. 48-65.
- Kuznetsova N. A. 2003. Habitat humidity and Collembolan distribution. *Zoologicheskij Zhurnal* 82: 239-247.
- Lavelle P., Spain A. V. 2001. *Soil ecology*. Springer Science & Business Media.
- Schrader S., Lingnau M. 1997. Influence of soil tillage and soil compaction on microarthropods in agricultural land. *Pedobiologia* 41: 202-209.
- Setälä H., Marshall V. G. 1994. Stumps as a habitat for Collembola during succession from clear-cuts to old-growth Douglas-fir forests. *Pedobiologia* 38: 307-326.
- Siira-Pietikäinen A., Haimi J. 2009. Changes in soil fauna 10 years after forest harvestings: Comparison between clear felling and green-tree retention methods. *Forest Ecology and Management* 258 (3): 332-338.
- Siira-Pietikäinen A., Haimi J., Siitonen J. 2003. Short-term responses of soil macroarthropod community to clear felling and alternative forest regeneration methods. *Forest Ecology and Management* 172 (2): 339-353.
- Sławska M. 2002a. Collembola responses to – communities of stand patches retained on logging area. *Annals of Warsaw Agricultural University. Forestry and Wood Technology* 52: 3-15.
- Sławska M. 2002b. Wpływ sposobu przygotowania gleby na zgrupowania skoczogonków (Collembola, Apterygota) boru sosnowego. *Sylwan* 146 (11): 63-72.

- Sławska M. 2004.** Rola skoczogonków (Collembola, Hexapoda) w funkcjonowaniu ekosystemów leśnych. Sylwan 148 (7): 53-71.
- Sławska M., Sławski M. 2017.** Wpływ suszy na ściółkowo-glebowe zgrupowania skoczogonków (Collembola, Hexapoda) w lesie mieszanym. Sylwan 161 (1): 71-80.
- Verhoef H. A., Brussaard L. 1990.** Decomposition and nitrogen mineralization in natural and agroecosystems: the contribution of soil animals. Biogeochemistry 11 (3): 175-211.