


Wpływ cech drzewostanu i siedliska na występowanie borecznika sosnowca *Diprion pini* L. oraz borecznika zielonożółtego *Gilpinia virens* (Klug) (Hymenoptera, Diprionidae) na wybranych obszarach północnej Polski

The influence of stand and habitat characteristics on the occurrence of pine sawflies *Diprion pini* L. and *Gilpinia virens* (Klug) (Hymenoptera, Diprionidae) in selected areas of northern Poland

Piotr Gawęda¹, Wojciech Grodzki^{2*} 

¹Zespół Ochrony Lasu w Gdańsku, ul. Polanki 125/9, 80-322 Gdańsk; ²Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Lasów Górskich, ul. Fredry 39, 30-605 Kraków

*Tel. +48 12 2528212, e-mail: W.Grodzki@ibles.waw.pl

Abstract. Pine sawflies (Hymenoptera: Diprionidae) belong to the most common pests of Scots pine *Pinus sylvestris* L. in the area of the Regional Directorates of State Forests in Toruń and Gdańsk. The two most destructive species, *Diprion pini* L. in the area of Puszcza Bydgoska and *Gilpinia virens* (Klug) in Bory Tucholskie, were investigated in this study. Our main aim was to characterize the two species in the Bydgoszcz Forest District in RDSF in Toruń and Kaliska in RDSF in Gdańsk, respectively, based on data gathered during outbreaks between 1991 and 2011.

For this purpose, a geometric database was created, containing information about the year of outbreak, number of larvae observed after tree felling as well as selected stand and site features including stand age and species composition, stocking index, canopy closure, site index, humidity and fertility.

By analyzing the occurrence of both species in relation to stand and site features, we were able to determine their environmental requirements, which are quite different from one another. *D. pini* preferred older stands, with a stocking index between 0.8–0.9, growing on fresh and dry coniferous sites, while species composition (share of pine), canopy closure or site index did not have any influence on its abundance. *G. virens* preferred middle-aged pure pine stands, with relatively open canopies, on fresh coniferous sites and poorer soils. The stocking index did not affect its occurrence.

Keywords: defoliating insects, *Pinus sylvestris*, outbreaks, environmental requirements

Słowa kluczowe: owady liściożerne, *Pinus sylvestris*, gradacje, wymagania środowiskowe

1. Wstęp

Boreczniki (Diprionidae), owady należące do rzędu błonkoskrzydłych (Hymenoptera), są zaliczane do najważniejszych szkodników liściożernych. Wśród foliofagów sosny *Pinus sylvestris* L. zajmują wysoką pozycję pod względem całkowitej powierzchni zabiegów ochronnych przeprowadzonych od lat 50. XX wieku na obszarze nadleśnictw leżących w zasięgu regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych (RDLP) w Toruniu i Gdańsku. Boreczniki charakteryzuje zespołowość występowania różnych gatunków oraz zmienność biologii i ekologii (np. fakt przelegiwania kokonów powoduje zmianę terminów rójki *imagines* w różnych latach gradacyjnego występowania). Obserwuje się też zmiany udziału poszczególnych gatunków w kolejnych latach obserwacji, a tym samym ich znaczenia na danym obszarze. Boreczniki

cechuje nieprzewidywalność występowania oraz intensywność powodowanych przez nie uszkodzeń w drzewostanach. Gradacje równie szybko ustępują w wyniku oddziaływania oporu naturalnego środowiska. Owady te uważane są za najtrudniejsze do prognozowania – dlatego poszukiwanie prawidłowości w ich rozwoju może być przydatne w praktyce ochrony lasu.

W omawianej grupie owadów największe znaczenie na terenie RDLP w Toruniu ma borecznik sosnowiec *Diprion pini* L., a na terenie RDLP w Gdańsku – borecznik zielonożółty *Gilpinia virens* (Klug). Obydwa gatunki są troficznie związane głównie z sosną zwyczajną, choć mogą żerować także na innych gatunkach sosny (Géri 1988, Górnaś 1989, Barre et al. 2002). Biologia *G. virens* jest słabiej poznana niż biologia *D. pini*. Boreczniki te mogą mieć jedną lub dwie generacje w roku, co jest uzależnione głównie od warunków atmosferycznych.

Wpłynęło: 20.03.2020 r., zrecenzowano: 11.04.2020 r., zaakceptowano: 16.06.2020 r.

rycznych (Górnaś 1989). Zimują w kokonach umiejscowionych w różnych miejscach, przy czym borecznik sosnowiec sporządza kokony grupowo w spękaniach kory w szyi korzeniowej sosny, a borecznik zielonożółty – w płatach mchu, nawet poza obrysem korony (Gawęda 2012). Larwy żerują na igłach sosen wiosną (I generacja) oraz latem i jesienią (II generacja), jednak w przypadku rozwlezionej w czasie rójki wiosennej w terenie można spotkać różne stadia tego samego gatunku (Gawęda 2011). Z obserwacji autorów wynika, że *D. pini* miał dwie generacje w ciągu roku, przy czym latem do rójki *imagines*, zakładających drugą generację, mogły dołączać te, które dopiero wtedy się wylęgły – po tak długim czasie – z kokonów, które przezimowały. Z uwagi na najwyższą płodność samic tego gatunku, spośród wszystkich boreczników, zwłaszcza odbywających rójkę latem, liczebność larw drugiej generacji może być nawet czterokrotnie wyższa niż pierwszej (obserwacje własne).

W piśmiennictwie znaleźć można szereg prac omawiających zależność występowania *D. pini* od warunków środowiskowych, zwłaszcza od składu gatunkowego drzewostanów i obecności domieszek liściastych (Géri, Goussard 1984; De Somville et al. 2004), jednakże nie odnoszą się one do drzewostanów północnej Polski. Z kolei publikacje w tym zakresie dotyczące *G. virens* są skąpe, ograniczone do wzmianek w opracowaniach podręcznikowych (Escherich 1942; Górnaś 1989; Szujewski 1995). Dlatego głębsze poznanie preferencji boreczników względem cech środowiska może ułatwić ich prawidłowe prognozowanie. W RDLP w Toruniu spośród siedmiu gatunków boreczników, obejmowanych zwalczaniem, na *D. pini* przypada 65% z ogólnej powierzchni tych zabiegów. Natomiast w RDLP w Gdańsku zagrożenie stwarzały cztery gatunki boreczników, spośród których na *G. virens* przypadło 74% z ogólnej powierzchni zabiegów wobec tej grupy owadów.

Celem niniejszych badań było określenie wpływu wybranych parametrów środowiska na występowanie (liczebność larw) boreczników: sosnowca i zielonożółtego.

2. Metodyka

Teren badań

Teren badań obejmował dwa rozległe obszary (ryc. 1): Puszczy Bydgoskiej (Nadleśnictwo Bydgoszcz do badań nad *D. pini*) i Borów Tucholskich (Nadleśnictwo Kaliska do badań nad *G. virens*). Obszary te charakteryzują się ubogimi siedliskami i częstym występowaniem gradacji różnych gatunków szkodników owadzych. W składzie gatunkowym dominuje sosna.

Zbiór danych

W ramach badań przeanalizowano wpływ wybranych cech drzewostanu i siedliska na średnią liczebność larw borecznika. W tym celu utworzono bazę danych zorganizowaną w układzie wydziałów oddziałów leśnych, zawierającą

liczebność larw tych owadów w koronach drzew i wybrane elementy charakterystyki drzewostanów. Dane dotyczące występowania obu gatunków dotyczyły lat ich gradacji: *D. pini* w Nadl. Bydgoszcz w latach 1991, 1992, 2005 i 2011 oraz *G. virens* w Nadl. Kaliska – w latach 1992, 1995, 1996 i 1997. Dane o liczebności larw boreczników uzyskano z dostarczanych przez nadleśnictwa do Zespołu Ochrony Lasu w Gdańsku formularzy sporządzanych podczas ściniki drzew na płachtę (IOL 1988, 2004). Wiek drzewostanu określano na podstawie odpowiednio zaktualizowanych danych zawartych w formularzach. Pozostałe dane o cechach drzewostanu i siedliska w tych wydzieleniach zaczerpnięto z właściwych planów urządzenia lasu (PUL 1991a,b, 2002). W bazie danych znalazły się następujące informacje: nadleśnictwo, obręb, rok gradacji, oddział, wydzielenie, cechy drzewostanu i siedliska z podziałem na odpowiednie klasy (IUL 2012) podane w tabeli 1 oraz liczba larw na drzewie ściętym na płachtę w danym wydzieleniu (w sztukach). Baza zawierała informacje dotyczące 1255 wydziałów, w tym 560 z Nadleśnictwa Bydgoszcz i 695 z Nadleśnictwa Kaliska. W przypadku uwilgotnienia siedliska nie zebrano jednak reprezentatywnej próby do analiz statystycznych, bowiem *D. pini* występował w drzewostanach na siedliskach suchych i świeżych, natomiast *G. virens* – niemal wyłącznie na siedliskach świeżych. Łącznie w sporządzonej bazie danych ogólna liczba larw borecznika sosnowca w badanych wydzieleniach wyniosła 790 688 sztuk, a borecznika zielonożółtego 97 825 sztuk.



Rycina 1. Lokalizacja obszarów badań na tle zasięgów rdLP: 1 – Nadl. Kaliska (RDLP w Gdańsku) w Borach Tucholskich; 2 – Nadl. Bydgoszcz (RDLP w Toruniu) w Puszczy Bydgoskiej
 Figure 1. Location of the study areas within the boundaries of the regional directorates of State Forests: 1 – the Kaliska Forest District (RDSF in Gdańsk) in Bory Tucholskie Forest; 2 – the Bydgoszcz Forest District (RDSF in Toruń) in the Puszcza Bydgoska Forest

Tabela 1. Cechy drzewostanu i siedliska użyte do zbadania preferencji *D. pini* i *G. virens*Table 1. Stand and site features used for the assessment of *D. pini* and *G. virens* preferences

Testowana cecha Study variable	Klasy – dane zgodnie z opisem taksacyjnym (PUL 1991a, b, 2001) Classes – according to forest inventory data (PUL 1991a, b, 2001)	Liczba klas Number of classes
Udział sosny Share of pine	10–100%, przedziały co 10%, 100%=10 10% intervals, 100%=10	10
Wiek sosny Age of pine	przedziały 20-letnie (I – 1–20 lat, VI – 101–120 lat) 20-years intervals (I – 1–20 years, VI – 101–120 years)	6
Zadrzewienie Stocking index	co 0,1 na podstawie tabel (IUL 2012) every 0,1 based on tables (IUL 2012)	8
Zwarcie [%] Canopy closure [%]	pełne (90–100), umiarkowane (70–80), przerywane (50–60), luźne (40), szacunek w terenie full (90–100), moderate (70–80), intermittent (50–60), loose (40), field assessment	4
Żyzność siedliska Site fertility	bór (B), bór mieszany (BM), las mieszany (LM), las (L) coniferous forest (B), mixed coniferous forest (BM), mixed deciduous forest (LM), deciduous forest (L)	4
Uwilgotnienie siedliska Site humidity	suche, świeże, wilgotne, bagienne dry, fresh, wet, marshy	4
Klasa bonitacji Bonitation class	Ia – IV,5 na podstawie tabel (IUL 2012) Ia – IV,5 based on tables (IUL 2012)	9

Analiza statystyczna

Z uwagi na brak normalności rozkładu zmiennych, istotność różnic w liczebności larw w klasach rozpatrywanej cechy testowano za pomocą nieparametrycznego testu Kruskala-Wallisa (*K-W*) wraz z testem *post-hoc*. Obliczenia statystyczne i wykresy wykonano przy pomocy programu Statistica 9 (Statsoft 2009).

3. Wyniki

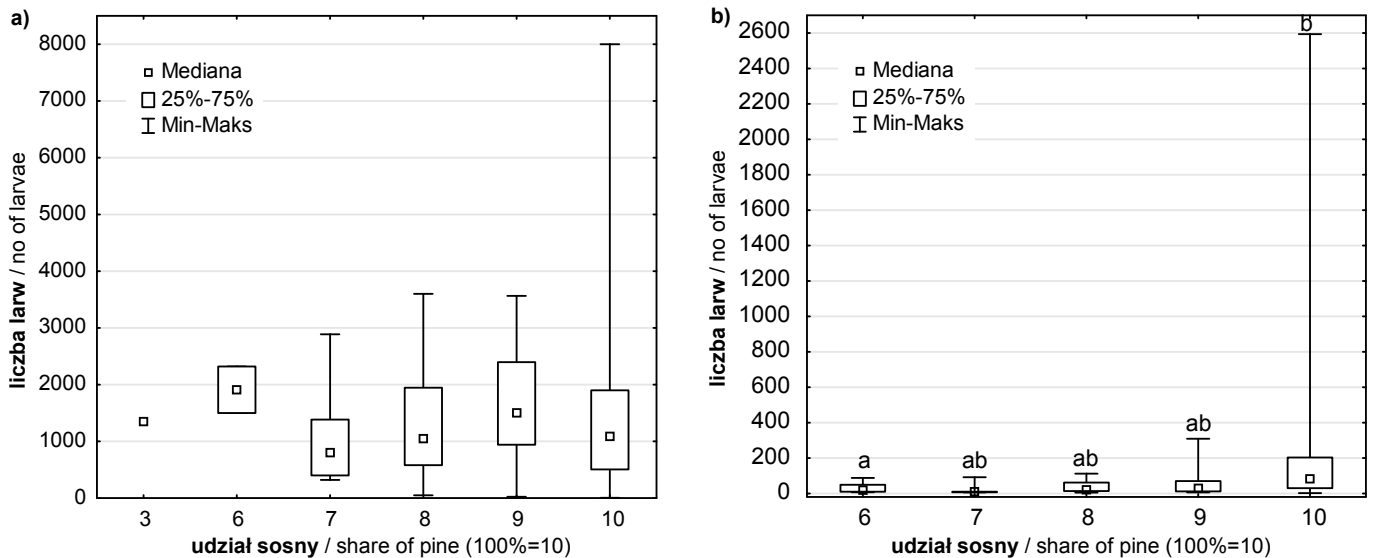
Występowanie *D. pini* ograniczało się do drzewostanów o udziale sosny określonym na 3 (zaledwie 1 drzewostan) oraz 6–10. Średnia (\pm odch. stand.) liczba larw w poszczególnych klasach udziału sosny była zróżnicowana, od 1095 ± 873 przy udziale 7 do 1910 ± 580 przy udziale 6, jednak różnice wynikające z udziału sosny w drzewostanie nie są statystycznie istotne (test *K-W*: $p=0,56$) (ryc. 2a). Natomiast średnia liczba larw *G. virens* w poszczególnych klasach udziału sosny wahała się od 25 ± 38 przy udziale 7, do 148 ± 191 przy udziale 10 (ryc. 2b). Różnice wynikające z udziału sosny są statystycznie istotne (test *K-W*: $p<0,001$), jednak zaznaczają się tylko między klasami z udziałem sosny równym 6 i 10 ($p<0,05$).

Średnia liczba larw *D. pini* w koronie drzewa zwiększała się z wiekiem drzewostanu, z 1061 ± 960 w 2. do 1931 ± 1671 w 6. klasie wieku (ryc. 3a). Różnice wynikające z wieku są statystycznie istotne (test *K-W*: $p<0,01$), jednak zaznaczają się tylko pomiędzy 2. a 4. i 5. klasą wieku ($p<0,05$). Natomiast

w przypadku *G. virens* średnia liczba larw w koronie drzewa wzrastała z 68 ± 78 w klasie 2. do 204 ± 243 w klasie 4., by następnie spaść do poziomu 146 ± 158 w drzewostanach 6. klasy wieku (ryc. 3b). Różnice wynikające z klasy wieku drzewostanu są statystycznie istotne (test *K-W*: $p<0,001$), co zaznacza się zwłaszcza w obrębie klas 3.–5. ($p<0,001$), a także pomiędzy klasami 1. i 6. ($p<0,05$).

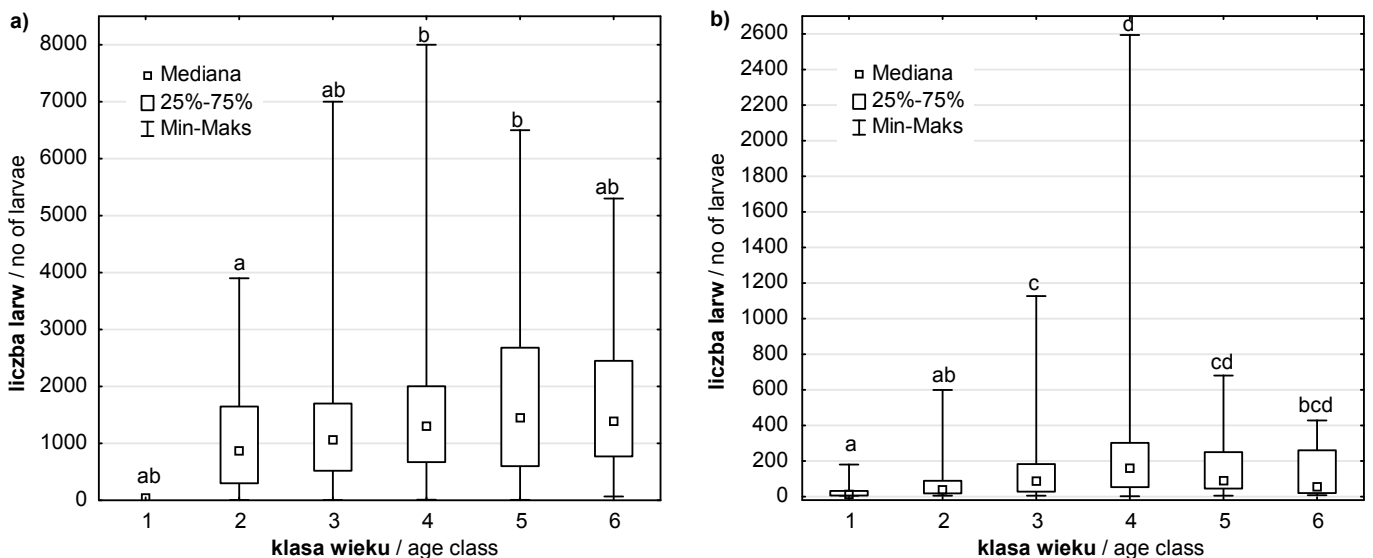
W przypadku klas zadrzewienia drzewostanu średnia liczba larw *D. pini* była najwyższa w klasach zadrzewienia od 0,7 (1159 ± 1107) do 0,9 (1567 ± 1384), zmniejszając się stopniowo wraz z malejącym wskaźnikiem zadrzewienia i będąc znacznie niższą w klasach powyżej 1,0 (ryc. 4a). Różnice wynikające z klasy zadrzewienia są statystycznie istotne (test *K-W*: $p<0,001$), jednak tylko pomiędzy klasami 0,8–0,9 a 1,1 ($p<0,05$). Natomiast w przypadku *G. virens* średnia liczba larw była najwyższa przy zadrzewieniu 0,5 (163 ± 262) i 0,7 (170 ± 183), zmniejszając się w wyższych klasach i będąc najniższą przy zadrzewieniu 1,2 (ryc. 4b). Różnice wynikające z klasy zadrzewienia drzewostanu nie są statystycznie istotne (test *K-W*: $p=0,15$).

Największą średnią liczbę larw *D. pini* stwierdzono przy zwarcium umiarkowanym (1442 ± 1287) i przerywanym (1438 ± 1218), nieco mniejszą przy zwarcium pełnym (1194 ± 1054), a najmniejszą przy zwarcium luźnym, reprezentowanym jedynie przez 1 drzewostan (ryc. 5a). Różnice wynikające ze zwarcia drzewostanu nie są statystycznie istotne (test *K-W*: $p=0,64$). Średnia liczba larw *G. virens* była najwyższa także przy zwarcium luźnym (388 ± 486), a znacznie niższa w pozostałych klasach, zmniejszając się stopniowo do wartości 95 ± 125 przy



Rycina 2. Średnie liczby larw (a) *D. pini* i (b) *G. virens* w zależności od udziału sosny w drzewostanie

Figure 2. Mean number of larvae of (a) *D. pini* and (b) *G. virens* related to *P. sylvestris* representation in the stand



Rycina 3. Średnie liczby larw (a) *D. pini* i (b) *G. virens* w poszczególnych 20-letnich klasach wieku drzewostanu

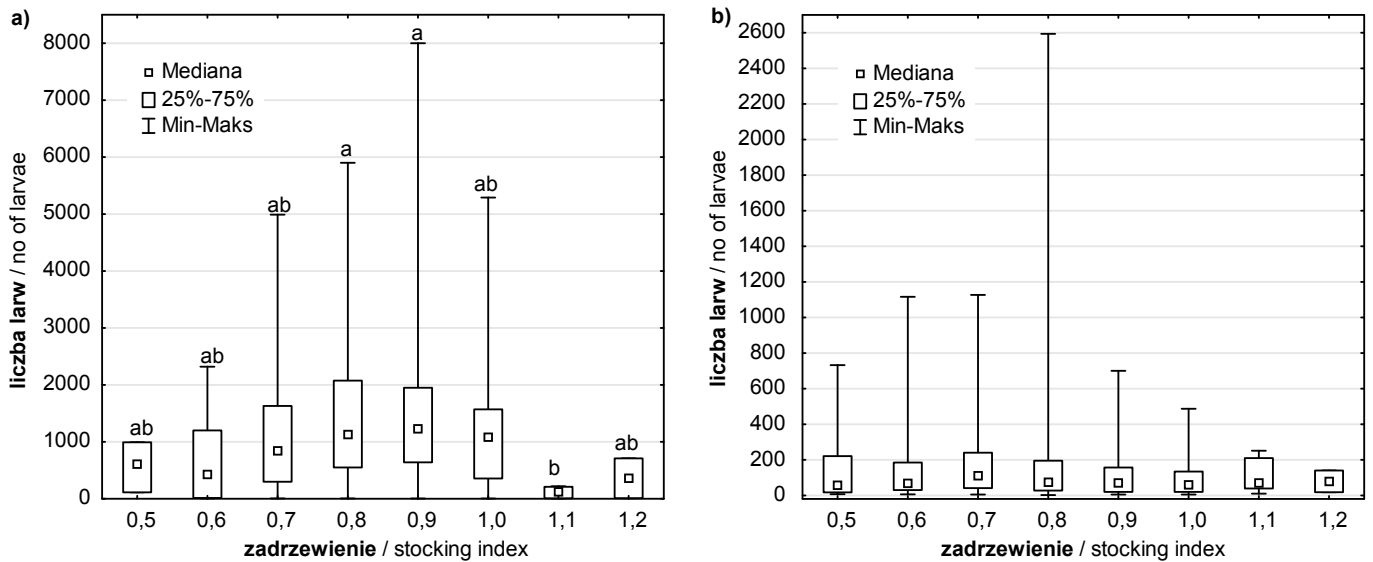
Figure 3. Mean number of larvae of (a) *D. pini* and (b) *G. virens* related to *P. sylvestris* 20-years age class

zwarciu pełnym (ryc. 5b). Różnice wynikające ze zwarcia drzewostanu nie są statystycznie istotne (test *K-W*: $p=0,12$).

Średnia liczba larw *D. pini* w poszczególnych klasach bonitacji drzewostanu nie wykazywała dużej zmienności – z wyjątkiem klas III,5 oraz IV,5 (ryc. 6a), przy braku różnic statystycznie istotnych (test *K-W*: $p=0,27$), co wskazuje na brak wyraźnych preferencji *D. pini* w tym zakresie. Natomiast w przypadku *G. virens* średnia liczba larw wzrastała od poziomu 41 ± 45 przy bonitacji Ia do 192 ± 294 przy III i 183 ± 151 przy IV klasie bonitacji (ryc. 6b), co potwierdza jego preferencje co do mniej zasobnych drzewostanów. Efekt wynikający z klasy bonitacji drzewostanu był statystycznie istotny (test *K-W*: $p < 0,001$), jednak istotne różnice (na po-

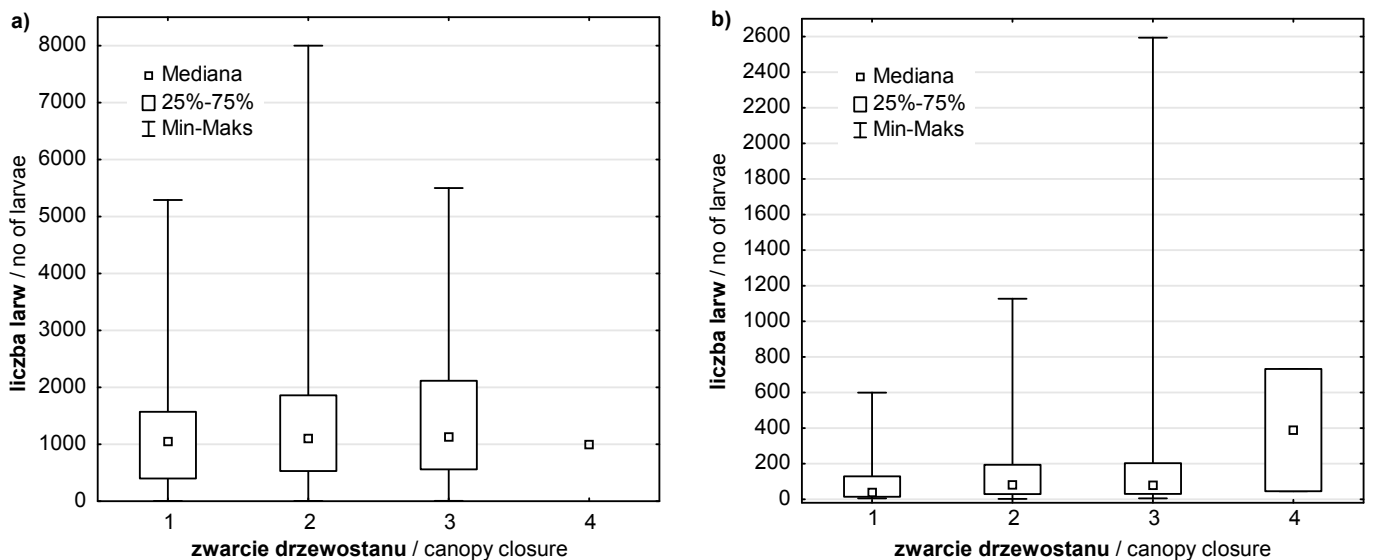
ziomie co najmniej $p < 0,05$) wystąpiły tylko pomiędzy niektórymi grupami.

D. pini nie wykazywał szczególnych preferencji w odniesieniu do klasy żyzności – największą średnią liczbę larw stwierdzono na siedlisku boru mieszanego, nieco niższą na siedlisku boru, a najniższą – lasu mieszanego (ryc. 7a); różnice wynikające z siedliska nie były statystycznie istotne (test *K-W*: $p=0,25$). Natomiast *G. virens* preferował siedliska najuboższe – średnia liczba larw była najwyższa na siedliskach borowych (166 ± 201) i zmniejszała się wraz ze wzrostem żyzności siedliska do poziomu 25 ± 18 na siedliskach lasowych (ryc. 7b), przy czym różnice te nie były statystycznie istotne (test *K-W*: $p=0,53$).



Rycina 4. Średnie liczby larw (a) *D. pini* i (b) *G. virens* w zależności od klasy zadrzewienia drzewostanu

Figure 4. Mean number of (a) larvae of *D. pini* and (b) *G. virens* related to the stocking index



Rycina 5. Średnie liczby larw (a) *D. pini* i (b) *G. virens* w zależności od klasy zwarcia drzewostanu (1 – pełne, 2 – umiarkowane, 3 – przerywane, 4 – luźne)

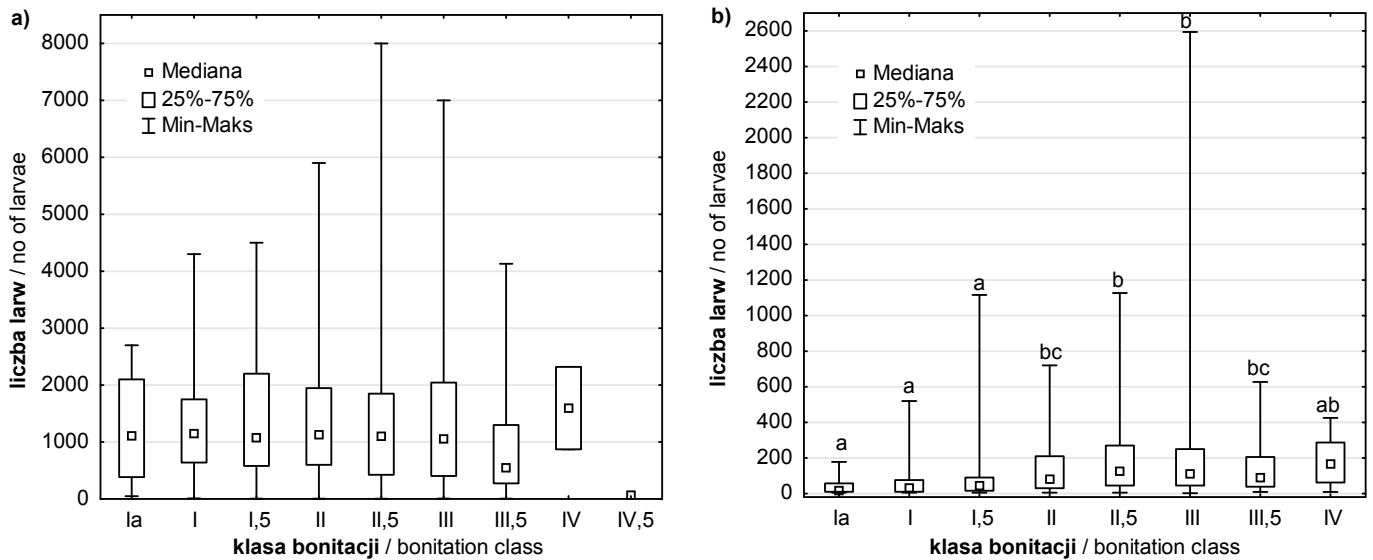
Figure 5. Mean number of larvae of (a) *D. pini* and (b) *G. virens* related to the canopy closure (1 – full, 2 – moderate, 3 – intermittent, 4 – loose)

4. Dyskusja

Boreczniki występujące w naszych lasach, rozumiane jako grupa kilkunastu gatunków, nie zostały dogłębnie poznane i w wielu kwestiach widoczne są luki w wiedzy o ich biologii oraz ekologii.

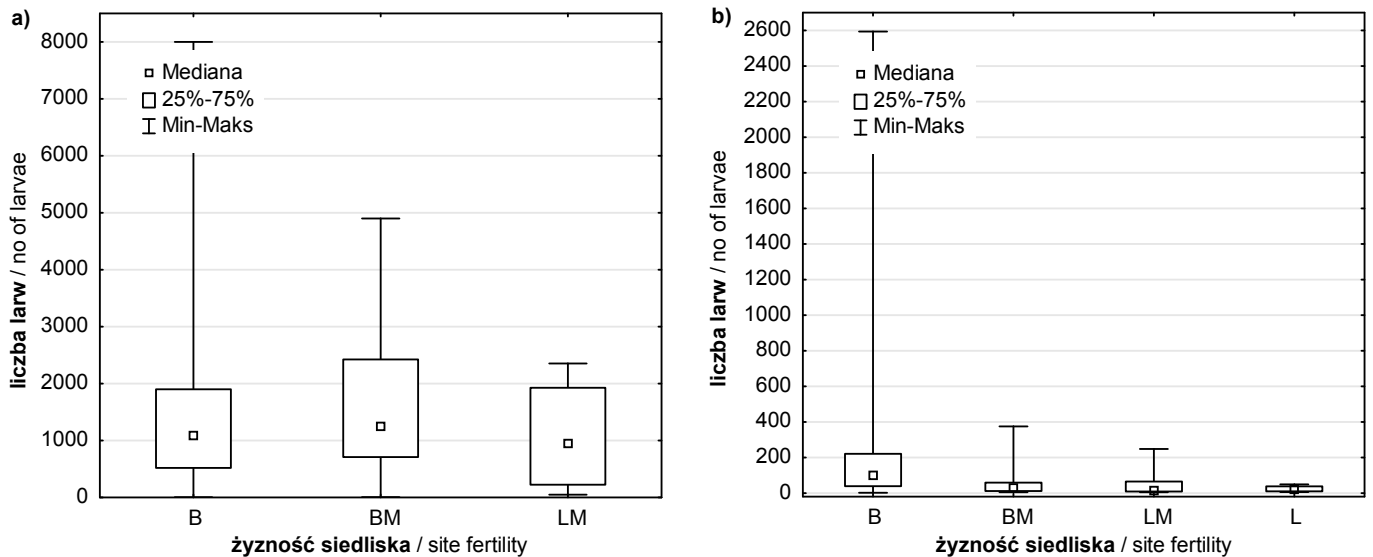
W Europie za najważniejszy, z gospodarczego punktu widzenia, gatunek borecznika uważany jest *D. pini* (Géri 1988). W północnej strefie kontynentu europejskiego miały miejsce liczne gradacje tego gatunku borecznika, natomiast w ogóle nie notowano tam masowych pojawów *G. virens* (Hanski 1989).

Analizując wpływ wybranych cech drzewostanu na występowanie *D. pini* oraz *G. virens*, zauważa się różnice w preferencjach środowiskowych obu gatunków. W przypadku *D. pini* średnia liczba larw rosta wraz z klasą wieku drzewostanu. Także Géri i Goussard (1984) zauważyli, że *D. pini* preferuje drzewa o większych rozmiarach, co wiąże się z ich bardziej zaawansowanym wiekiem. De Somviele i in. (2004), badając skutki żeru larw *D. pini* w Finlandii podczas jego gradacji na powierzchni 500 tys. ha w latach 1999–2000, stwierdzili, że owad ten preferował starsze drzewostany, natomiast w młodszych uszkadzał w większym stopniu drzewa przyszłościowe (grubsze i o bardziej



Rycina 6. Średnie liczby larw (a) *D. pini* i (b) *G. virens* w zależności od klasy bonitacji drzewostanu

Figure 6. Mean number of larvae of (a) *D. pini* and (b) *G. virens* related to the stand bonitation



Rycina 7. Średnie liczby larw (a) *D. pini* i (b) *G. virens* w zależności od żyzności siedliska: bór (B), bór mieszany (BM), las mieszany (LM), las (L)

Figure 7. Mean number of larvae of (a) *D. pini* and (b) *G. virens* related to the site fertility: coniferous forest (B), mixed coniferous forest (BM), mixed deciduous forest (LM), deciduous forest (L)

rozbudowanej koronie). Drugi z badanych gatunków *G. virens* preferował drzewostany będące w IV klasie wieku, a w drzewostanach starszych zanotowano spadek liczebności jego larw. Wskazywałoby to na odmienne preferencje obu badanych gatunków: przywiązanie *D. pini* do drzewostanów starszych, a *G. virens* – do średnich klas wieku. Podobne zróżnicowanie preferencji w tym zakresie występuje także u innych, blisko spokrewnionych gatunków owadów, np. u osni gwiaździstej *Acantholyda posticalis* (Mats.), preferującej zwykle drzewostany starsze, i osni czerwogłowej *A. erythrocephala* (L.), związanej z drzewostanami

młodszy (Kolk et al. 2009), choć znane są także przypadki zmiany tych zależności (Guzik 1999).

Nie stwierdzono, aby udział sosny w drzewostanie był czynnikiem istotnie wpływającym na liczebność larw *D. pini*, co może wynikać z faktu, że niemal wszystkie analizowane drzewostany cechowały się wysokim (co najmniej 50%) udziałem tego gatunku drzewa. Także Géri i Goussard (1984) nie stwierdzili takiej zależności. Potwierdzono zatem pośrednio informacje podawane przez Szujckiego (1980) mówiące, że na obszarze występowania gradacji liczebność zimujących kokonów *D. pini* oraz innych foliofagów nie jest

istotnie zależna od obecności gatunków liściastych. Z kolei w przypadku *G. virens* udział sosny w drzewostanie okazał się czynnikiem wpływającym na liczebność larw, która była najwyższa w litych drzewostanach sosnowych i zmniejszała się wraz ze zmniejszającym się jej udziałem.

Oba gatunki boreczników cechowały odmienne preferencje środowiskowe odnośnie zadrzewienia drzewostanu. W przypadku *D. pini* wyniki wskazują na preferencję larw tego gatunku względem drzewostanów o zadrzewieniu na poziomie od 0,8 do 0,9, podczas gdy w przypadku *G. virens* różnice wynikające z klasy zadrzewienia drzewostanu okazały się statystycznie nieistotne. Sierpiński (1972) podaje za Grimalskij (1971), że w sosnowych drzewostanach trzydziestoletnich rosnących na ubogich siedliskach obniżenie stopnia zadrzewienia z 1,0 do 0,7 nie miało istotnego wpływu na występowanie *D. pini*, natomiast na żyznych siedliskach spowodowało zwiększenie odporności drzewostanów w odniesieniu do tego gatunku owada.

Zwarcie drzewostanu nie miało istotnego wpływu na średnią liczbę larw obu gatunków boreczników, choć zdaniem Sierpińskiego (1972), odwołującego się do danych Schwerdtfegera (1957), nasilenie występowania kokonów *D. pini* w jesiennych poszukiwaniach było większe przy słabszym zwarcie drzewostanów. Kielczewski i in. (1967) wspominają o znacznie mniejszym zagęszczeniu kokonów przy pełnym zwarcie drzewostanów, a Urban (1961) oraz Géri i Goussard (1984) zwrócili uwagę na silniejszą defoliację wskutek zerwania *D. pini* w drzewostanach mniej zwartych. Tymczasem De Somviele i in. (2007) stwierdzili większe zagęszczenie kokonów *D. pini* wewnątrz zwartych drzewostanów niż w ich pofragmentowanej strefie brzegowej, określając to jako *edge effect*. Natomiast w przypadku *G. virens* dało się zauważyć preferencję względem drzewostanów cechujących się bardziej luźnym zwarcie koron.

D. pini nie wykazywał żadnych preferencji w odniesieniu do poszczególnych klas bonitacji drzewostanu, natomiast u *G. virens* średnia liczebność larw rosła wraz ze wzrostem wskaźnika bonitacji, związanym z coraz mniej zasobnym drzewostanem. Dane dotyczące liczebności larw boreczników okazały się niewystarczające do poznania preferencji tych gatunków w odniesieniu do uwilgotnienia siedliska. Ogólnie jednak należy stwierdzić, że oba boreczniki wydają się plastyczne jeśli chodzi o cechy siedlisk, choć w przypadku *G. virens* wyniki wskazują na jego skłonność do występowania raczej na siedliskach ubogich, co w literaturze odnotowano w odniesieniu do *D. pini* (De Somviele et al. 2004)

5. Podsumowanie

1. Badane dwa gatunki boreczników różniły się preferencjami w stosunku do niektórych cech drzewostanu i siedliska w obszarach gradacyjnego występowania.

2. Borecznik sosnowiec preferował drzewostany starsze, o zadrzewieniu w zakresie od 0,8 do 0,9, a udział sosny, zwarcie czy wskaźnik bonitacji nie miały wpływu na jego liczebność.

3. Borecznik zielonożółty preferował lite drzewostany sosnowe średnich klas wieku o luźniejszym zwarcie i słabszej bonitacji na siedliskach boru świeżego, a zadrzewienie nie miało dla niego istotnego znaczenia.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Źródła finansowania

Badania sfinansowano ze źródeł własnych autorów.

Literatura

- Barre F., Milsant F., Palasse C., Prigent V., Goussard F., Géri C. 2002. Preference and performance of the sawfly *Diprion pini* on host and non-host plants of the genus *Pinus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 102: 229–237. DOI 10.1046/j.1570-7458.2002.00944.x.
- De Somviele B., Lyytikäinen-Saarenmaa P., Niemelä P. 2004. Sawfly (*Hym., Diprionidae*) outbreaks on Scots pine: effect of stand structure, site quality and relative tree position on defoliation intensity. *Forest Ecology and Management* 194: 305–317. DOI 10.1016/j.foreco.2004.02.023.
- De Somviele B., Lyytikäinen-Saarenmaa P., Niemelä P. 2007. Stand edge effects on distribution and condition of Diprionid sawflies. *Agricultural and Forest Entomology* 9: 17–30. DOI 10.1111/j.1461-9563.2006.00313.x
- Escherich K. 1942. Die Forstinsekten Mitteleuropas. Fünfter Band. Verlag Paul Parey, Berlin, 746 s.
- Gawęda P. 1996. Boreczniki kłopotliwe szkodniki – 1. *Las Polski* 1: 14–16.
- Gawęda P. 2011. Boreczniki – sposób postępowania w ochronie lasu. *Postępy techniki w leśnictwie* 116: 38–45.
- Gawęda P. 2012. Boreczniki sosnowe – prognozowanie i rozpoznawanie. *Biblioteczka Leśniczego* 338: 16 s.
- Géri C. 1988. The pine sawfly in central France, w: A.A. Berryman (ed.) Dynamics of forest insect populations. Patterns, causes, implications. Plenum Press, New York and London, 377–405. ISBN 978-1-4899-0789-9.
- Géri C., Goussard F. 1984. Evolution d'une nouvelle gradation de lophyre du pin (*Diprion pini* L.) dans le sud du Bassin Parisien. I. – Développement de la gradation jusqu'en 1982 et relation avec les facteurs du milieu. *Annales des Sciences Forestières* 41: 376–403.
- Górnaś E. 1989. Boreczniki. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 156 s. ISBN 83-09-01396-5.
- Grimalskij W. 1971. Vliánie polnoty na ustojčivost sosny k hvoegrizušim vreditelám. *Lesnoe Hozájstvo* 2: 69–71.
- Guzik G. 1999. Wpływ żyzności siedlisk i wieku drzewostanów na gradację osnuj czerwonogłowej (*Acantholyda erythrocephala* L.) na Śląsku. *Sylwan* 6: 61–71.
- Hanski I. 1989. Pine sawfly population dynamics: patterns, processes, problems. *OIKOS* 50: 327–335. DOI 10.2307/3565493.
- IOL 1988. Instrukcja ochrony lasu. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 303 s.
- IOL 2004. Instrukcja ochrony lasu. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa. 276 s. ISBN 83-88478-45-1.

- IUL 2012. Instrukcja urządzania lasu. Część I. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 287 s. ISBN 978-83-61633-69-3.
- Kielczewski B., Szmida A., Kadłubowski W. 1967. Entomologia leśna z zarysem akarologii. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 662 s.
- Kolk A., Starzyk J., Kinelski S., Dzwonkowski R. 2009. Atlas owadów uszkadzających drzewa leśne. Cz. 1., Multico, Warszawa, 253 s. ISBN 978-83-7073-858-7.
- PUL 1991a. Plan urządzania lasu Nadleśnictwa Bydgoszcz na okres od 1.01.1992 r. do 31.12.2001 r. BULiGL O/Gdynia. Maszynopis.
- PUL 2001. Plan urządzania lasu Nadleśnictwa Bydgoszcz na okres od 1.01.2002 r. do 31.12.2011 r. BULiGL O/Gdynia. Maszynopis.
- PUL 1991b. Plan urządzania lasu Nadleśnictwa Kaliska na okres od 1.01.1992 r. do 31.12.2001 r. BULiGL O/Gdynia. Maszynopis.
- Schwerdtfeger F. 1957. Waldkrankheiten. II Auflage. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 509 s.
- Sierpiński Z. 1972. Wpływ zwarcia drzewostanów na zmiany w gęstości populacji szkodliwych owadów leśnych. *Sylvan* 2: 1–15.
- StatSoft Inc. 2009. Statistica for Windows (Computer program manual). Tulsa, OK: StatSoft, Inc. <http://www.statsoft.com> [20.01.2020].
- Szujecki A. 1980. Ekologia owadów leśnych. PWN, Warszawa, 602 s. ISBN 83-01-00692-7.
- Szujecki A. 1995. Entomologia leśna. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 820 s. ISBN 83-00-02893-5.
- Urban S. 1961. Auftreten und Verlauf der derzeitigen Massenvermehrung der Kiefernbuschhornblattwespe *Diprion pini* L. in der DDR. *Forst und Jagd* 11: 1–7.

Wkład autorów

P.G. – koncepcja, zbiór, zestawienie i analiza danych, redakcja tekstu; W.G. – koncepcja, analiza danych, redakcja tekstu.

The influence of stand and habitat characteristics on the occurrence of pine sawflies *Diprion pini* L. and *Gilpinia virens* (Klug) (Hymenoptera, Diprionidae) in selected areas of northern Poland

Piotr Gawęda,¹ Wojciech Grodzki² 

¹Forest Protection Unit in Gdańsk, ul. Polanki 125/9, 80–322 Gdańsk, Poland; ²Forest Research Institute, Department of Mountain Forests, ul. Fredry 39, 30–605 Kraków, Poland

*Phone no. +48 12 2528212, e-mail: W.Grodzki@ibles.waw.pl

Abstract. Pine sawflies (Hymenoptera: Diprionidae) belong to the most common pests of Scots pine *Pinus sylvestris* L. in the area of the Regional Directorates of State Forests in Toruń and Gdańsk. The two most destructive species, *Diprion pini* L. in the area of Puszcza Bydgoska and *Gilpinia virens* (Klug) in Bory Tucholskie, were investigated in this study. Our main aim was to characterise the two species in the Bydgoszcz Forest District in RDSF in Toruń and Kaliska in RDSF in Gdańsk, respectively, based on data gathered during outbreaks between 1991 and 2011.

For this purpose, a geometric database was created, containing information about the year of outbreak, number of larvae observed after tree felling as well as selected stand and site features including stand age and species composition, stocking index, canopy closure, site index, humidity and fertility.

By analysing the occurrence of both species in relation to stand and site features, we were able to determine their environmental requirements, which are quite different from one another. *D. pini* preferred older stands, with a stocking index between 0.8–0.9, growing on fresh and dry coniferous sites, while species composition (share of pine), canopy closure or site index did not have any influence on its abundance. *G. virens* preferred middle-aged pure pine stands, with relatively open canopies, on fresh coniferous sites and poorer soils. The stocking index did not affect its occurrence.

Keywords: defoliating insects, *Pinus sylvestris*, outbreaks, environmental requirements

1. Introduction

Sawflies (Diprionidae), insects of the Hymenoptera order, are among the most important defoliating pests. Among the defoliating pests of the pine *Pinus sylvestris* L., they occupy a high position in terms of the total area of protective treatments performed since the 1950s in the forest districts of the Regional Directorates of State Forests (RDSF) in Toruń and Gdańsk. Sawflies are characterised by the complexity of the occurrence of different species and the variability of biology and ecology (e.g., the fact that an extended cocoon stage changes the timing of *imagines* swarms in different years of gradation occurrence). The share of particular species also changes in subsequent years of observation, and, so does their significance in a given area. Sawflies are characterised by their unpredictability of occurrence and intensity of the

damage they cause in the stands. Gradations also quickly cease in the face of resistance by the natural environment. These insects are considered to be the most difficult to predict – therefore, searching for regularities in their development can be useful for practices to protect the forest.

Of the discussed group of insects, the most important in the Toruń RDSF is the pine sawfly *Diprion pini* (L.), and in the Gdańsk RDSF – *Gilpinia virens* (Klug). Both species are trophically related mainly to Scots pine, although they can also feed on other pine species (Géri, 1988; Górnaś, 1989; Barre et al., 2002). The biology of *G. virens* is less well known than that of *D. pini*. One or two generations of these sawflies may occur per year, depending mainly on the atmospheric conditions (Upper Lus, 1989). They winter cocoons located in different places, with the pine sawfly locating its cocoons in groups in bark cracks in the root neck of the pine,

Received: 20.03.2020 r., accepted after revision: 16.06.2020 r.

The influence of stand and habitat characteristics on the occurrence of pine sawflies *Diprion pini* L. and *Gilpinia virens* (Klug) (Hymenoptera, Diprionidae) in selected areas of northern Poland

Piotr Gawęda,¹ Wojciech Grodzki² 

¹Forest Protection Unit in Gdańsk, ul. Polanki 125/9, 80–322 Gdańsk, Poland; ²Forest Research Institute, Department of Mountain Forests, ul. Fredry 39, 30–605 Kraków, Poland

*Phone no. +48 12 2528212, e-mail: W.Grodzki@ibles.waw.pl

Abstract. Pine sawflies (Hymenoptera: Diprionidae) belong to the most common pests of Scots pine *Pinus sylvestris* L. in the area of the Regional Directorates of State Forests in Toruń and Gdańsk. The two most destructive species, *Diprion pini* L. in the area of Puszcza Bydgoska and *Gilpinia virens* (Klug) in Bory Tucholskie, were investigated in this study. Our main aim was to characterise the two species in the Bydgoszcz Forest District in RDSF in Toruń and Kaliska in RDSF in Gdańsk, respectively, based on data gathered during outbreaks between 1991 and 2011.

For this purpose, a geometric database was created, containing information about the year of outbreak, number of larvae observed after tree felling as well as selected stand and site features including stand age and species composition, stocking index, canopy closure, site index, humidity and fertility.

By analysing the occurrence of both species in relation to stand and site features, we were able to determine their environmental requirements, which are quite different from one another. *D. pini* preferred older stands, with a stocking index between 0.8–0.9, growing on fresh and dry coniferous sites, while species composition (share of pine), canopy closure or site index did not have any influence on its abundance. *G. virens* preferred middle-aged pure pine stands, with relatively open canopies, on fresh coniferous sites and poorer soils. The stocking index did not affect its occurrence.

Keywords: defoliating insects, *Pinus sylvestris*, outbreaks, environmental requirements

1. Introduction

Sawflies (Diprionidae), insects of the Hymenoptera order, are among the most important defoliating pests. Among the defoliating pests of the pine *Pinus sylvestris* L., they occupy a high position in terms of the total area of protective treatments performed since the 1950s in the forest districts of the Regional Directorates of State Forests (RDSF) in Toruń and Gdańsk. Sawflies are characterised by the complexity of the occurrence of different species and the variability of biology and ecology (e.g., the fact that an extended cocoon stage changes the timing of *imagines* swarms in different years of gradation occurrence). The share of particular species also changes in subsequent years of observation, and, so does their significance in a given area. Sawflies are characterised by their unpredictability of occurrence and intensity of the

damage they cause in the stands. Gradations also quickly cease in the face of resistance by the natural environment. These insects are considered to be the most difficult to predict – therefore, searching for regularities in their development can be useful for practices to protect the forest.

Of the discussed group of insects, the most important in the Toruń RDSF is the pine sawfly *Diprion pini* (L.), and in the Gdańsk RDSF – *Gilpinia virens* (Klug). Both species are trophically related mainly to Scots pine, although they can also feed on other pine species (Géri, 1988; Górnaś, 1989; Barre et al., 2002). The biology of *G. virens* is less well known than that of *D. pini*. One or two generations of these sawflies may occur per year, depending mainly on the atmospheric conditions (Upper Lus, 1989). They winter cocoons located in different places, with the pine sawfly locating its cocoons in groups in bark cracks in the root neck of the pine,

Received: 20.03.2020 r., accepted after revision: 16.06.2020 r.

and *G. virens* in moss patches, even outside the outline of the crown (Gawęda, 2012). The larvae feed on pine needles in spring (1st generation) and in summer and autumn (2nd generation). However, when the spring swarm is spread over time, different stages of the same species can be found in the field (Gawęda, 2011). According to the authors' observations, two generations of *D. pini* occurred during one year, but in summer, the swarm of *imagines* producing the second generation may be joined by those that have just hatched – after a much extended period of time – from overwintering cocoons. Given the highest fecundity of females of this species among all the sawflies, especially those swarming in the summer, the number of second-generation larvae can be even up to four times higher than the first generation (own observations).

One can find a number of papers in the literature discussing the dependence of *D. pini* occurrence on environmental conditions, especially on the species composition of stands and the presence of deciduous admixtures (Géri, Goussard, 1984; De Somviele et al., 2004); however, they do not refer to the stands of northern Poland. On the other hand, publications on *G. virens* in this regard are scarce, limited to the references in textbooks (Escherich, 1942; Górnas, 1989; Szujecki, 1995). Therefore, a deeper understanding of the sawfly's preference in terms of the habitat characteristics of the forest may facilitate better forecasting of outbreaks. In the Toruń RDSF, out of the seven species of sawfly for which protective treatments are performed, *D. pini* accounts for 65% of the total area of these treatments. In the Gdańsk RDSF, on the other hand, four species of sawfly threatened the forest, of which *G. virens* accounted for 74% of the total treatment area for this group of insects.

The aim of this study was to determine the influence of selected environmental parameters on the occurrence (number of larvae) of *D. pini* and *D. virens* sawflies.

2. Methods

Study area

The study area encompassed two extensive areas: Puszcza Bydgoska (Bydgoszcz Forest District for the research on *D. pini*) and Bory Tucholskie (Kaliska Forest District for the research on *G. virens*). These areas are characterised by poor habitats and frequent occurrence of gradations of various insect pest species. The species composition is dominated by pine.

Data set

The study analysed the influence of selected stand and habitat characteristics on the average number of sawfly larvae. For this purpose, a database was created, organised in accordance with the system of forest sub-compartments (stands) in forest

compartments containing the number of larvae of these insects in tree crowns and selected elements of stand characteristics. The data on the occurrence of both species were from years of their gradation: *D. pini* in the Bydgoszcz Forest District in 1991, 1992, 2005 and 2011, and *G. virens* in the Kaliska Forest District in 1992, 1995, 1996 and 1997. Data on the number of sawfly larvae were obtained from forms provided by the forest inspectorates to the Forest Protection Team in Gdańsk. The forms were filled out after the trees were felled on a tarpaulin (IOL 1988, 2004). Stand age was determined on the basis of properly updated data contained in the forms. The remaining data on the characteristics of the stand and the habitat in these sub-compartments were taken from the relevant forest management plans (PUL 1991a,b, 2002). The following information was included in the database: forest district, sub-district, year of gradation, compartment, sub-compartment, stand and habitat characteristics with division into appropriate classes (IUL 2012) provided in Table 1 and the number of larvae from the tree felled on the tarpaulin in a given sub-compartment (individuals). The database contained information on 1255 sub-compartments, including 560 from Bydgoszcz Forest District and 695 from Kaliska Forest District. In the case of habitat moisture, however, no representative sample was collected for statistical analyses, as *D. pini* was found in stands of dry and fresh habitats, while *G. virens* – almost exclusively in fresh habitats. The total number of pine sawfly larvae in the analysed sections was 790 688 and of *G. virens* larvae – 97,825.



Figure 1. Location of the study areas within the boundaries of the regional directorates of State Forests: 1 – the Kaliska Forest District (RDSF in Gdańsk) in Bory Tucholskie Forest; 2 – the Bydgoszcz Forest District (RDSF in Toruń) in the Puszcza Bydgoska Forest

Table 1. Stand and site features used for the assessment of *D. pini* and *G. virens* preferences

Study variable	Classes – according to forest inventory data (PUL 1991a, b, 2001)	Number of classes
Share of pine	10% intervals, 100%=10	10
Age of pine	20-years intervals (I – 1–20 years, VI – 101–120 years)	6
Stocking index	every 0,1 based on tables (IUL 2012)	8
Canopy closure [%]	full (90–100), moderate (70–80), intermittent (50–60), loose (40), field assessment	4
Site fertility	coniferous forest (B), mixed coniferous forest (BM), mixed deciduous forest (LM), deciduous forest (L)	4
Site humidity	dry, fresh, wet, marshy	4
Bonitation class	Ia – IV,5 based on tables (IUL 2012)	9

Statistical analysis

Due to the lack of normality of the variable distribution, the significance of the differences in the number of larvae in the classes of the feature in question was tested using the non-parametric Kruskal–Wallis test (*K–W*) together with the *post-hoc* test. Statistical calculations and graphs were performed using Statistica 9 (Statsoft 2009).

3. Results

The occurrence of *D. pini* was limited to stands with the pine share defined as 3 (barely 1 stand) and 6–10. The average (\pm standard deviation) number of larvae in particular classes of pine share varied, from 1095 ± 873 at a pine share of 7 to 1910 ± 580 at 6, but the differences resulting from the pine share are not statistically significant (*K–W* test: $p=0.56$) (Fig. 2a). The average number of *G. virens* larvae in particular pine classes ranged from 25 ± 38 at 7 to 148 ± 191 at 10 (Fig. 2b). The differences resulting from the pine share are statistically significant (*K–W* test: $p<0.001$). However, they are only visible between the classes with a pine share equal to 6 and 10 ($p<0.05$).

The average number of *D. pini* larvae in the tree crown increased with the age of the stand, from 1061 ± 960 in the 2nd age class to 1931 ± 1671 in the 6th age class (Fig. 3a). The differences resulting from age are statistically significant (*K–W* test: $p<0.01$), but only between the 2nd and 4th and 5th age classes ($p<0.05$). In the case of *G. virens*, the average number of larvae in the tree crown increased from 68 ± 78 in the 2nd class to 204 ± 243 in the 4th class and then dropped to 146 ± 158 in 6th age class stands (Fig. 3b). The differences resulting from the stand age class are statistically significant (*K–W* test: $p<0.001$), which is particularly noticeable within classes 3–5 ($p<0.001$), as well as between classes 1 and 6 ($p<0.05$).

In terms of the stocking index, the average number of *D. pini* larvae was highest with a stocking index of 0.7 (1159 ± 1107) to 0.9 (1567 ± 1384), decreasing gradually with a declining stocking index and becoming significantly lower in classes above 1.0 (Fig. 4a). The differences resulting from the stocking index are statistically significant (*K–W* test: $p<0.001$), but only between classes 0.8–0.9 and 1.1 ($p<0.05$). In the case of *G. virens*, the average number of larvae was the highest in 0.5 (163 ± 262) and 0.7 (170 ± 183) stocking index classes, decreasing in higher classes and being the lowest in 1.2 (Fig. 4b). The differences resulting from the stocking index are not statistically significant (*K–W* test: $p=0.15$).

The highest average number of *D. pini* larvae was found in moderate (1442 ± 1287) and intermittent canopy closure (1438 ± 1218), slightly lower in full canopy closure (1194 ± 1054), and the lowest in loose canopy closure, represented by only 1 stand (Fig. 5a). The differences resulting from a stand's canopy closure are not statistically significant (*K–W* test: $p=0.64$). The average number of *G. virens* larvae was the highest also in loose canopy closures (388 ± 486) and much lower in the other classes, gradually decreasing to 95 ± 125 for full canopy closure (Fig. 5b). The differences resulting from the stand short canopy closure are not statistically significant (*K–W* test: $p=0.12$).

The average number of *D. pini* larvae in specific stand site index classes did not exhibit great variability – except for classes III,5 and IV,5 (Fig. 6a), with no statistically significant differences (*K–W* test: $p=0.27$), which indicates the lack of clear preferences of *D. pini* in this respect. In the case of *G. virens*, on the other hand, the average number of larvae increased from 41 ± 45 at site index Ia to 192 ± 294 at III and 183 ± 151 at site index class IV (Fig. 6b), which confirms its preference for less fertile stands. The effect resulting from the stand's site index class was statistically significant

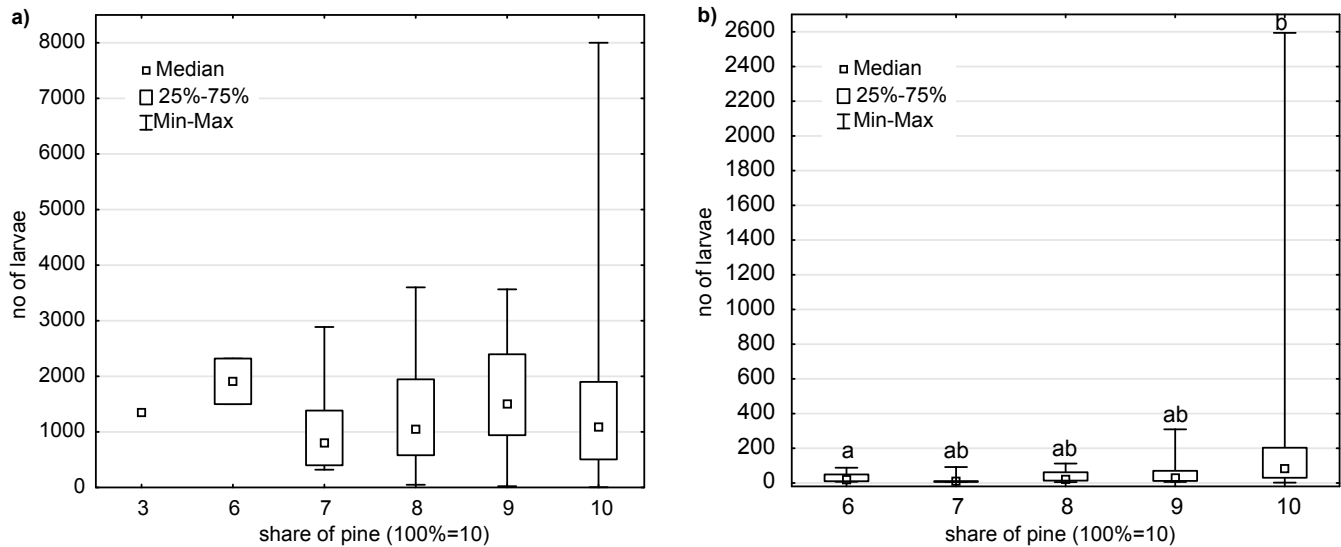


Figure 2. Mean number of larvae of (a) *D. pini* and (b) *G. virens* related to *P. sylvestris* representation in the stand

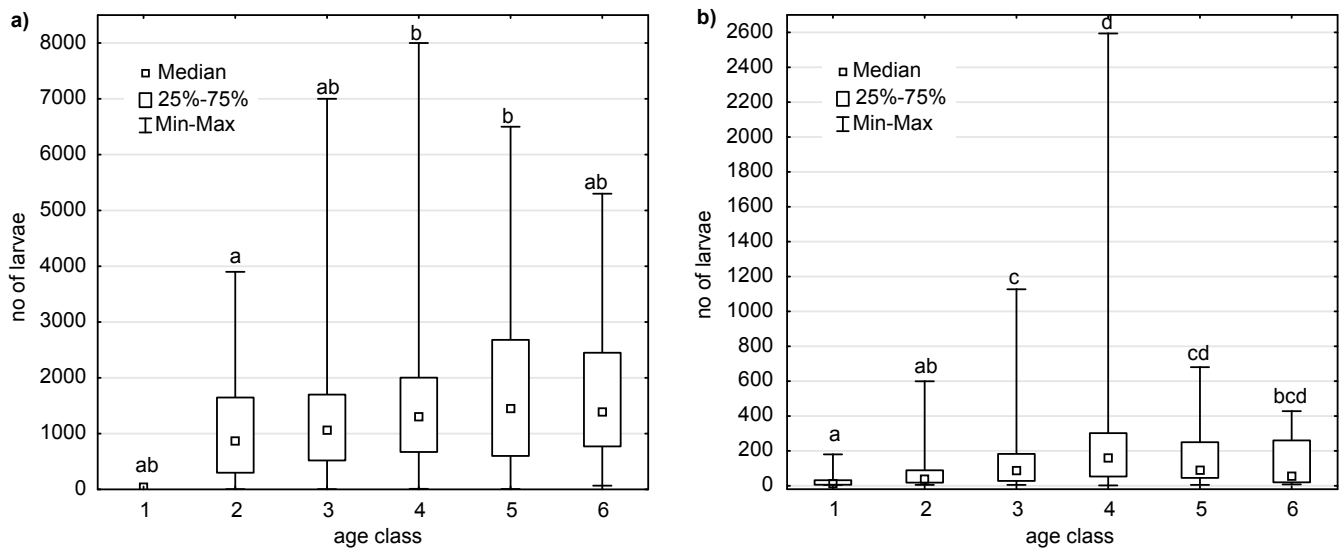


Figure 3. Mean number of larvae of (a) *D. pini* and (b) *G. virens* related to *P. sylvestris* 20-years age class

(*K-W* test: $p < 0.001$), but significant differences (at the level of at least $p < 0.05$) occurred only between certain groups.

D. pini did not exhibit any particular preference for fertility class – the highest average number of larvae was found in mixed coniferous forest habitat, slightly lower in coniferous forest habitat and lowest in the mixed deciduous forest (Fig. 7a); the differences resulting from habitat fertility were not statistically significant (*K-W* test: $p = 0.25$). On the other hand, *G. virens* preferred the sites with the poorest fertility – the average number of larvae was highest in coniferous sites

(166 ± 201) and decreased with increasing habitat fertility to 25 ± 18 in deciduous sites (Fig. 7b), but these differences were not statistically significant (*K-W* test: $p = 0.53$).

4. Discussion

Sawflies occurring in our forests, understood as a group of a dozen or so species, have not been thoroughly studied, and in many cases, there are gaps in the knowledge about their biology and ecology.

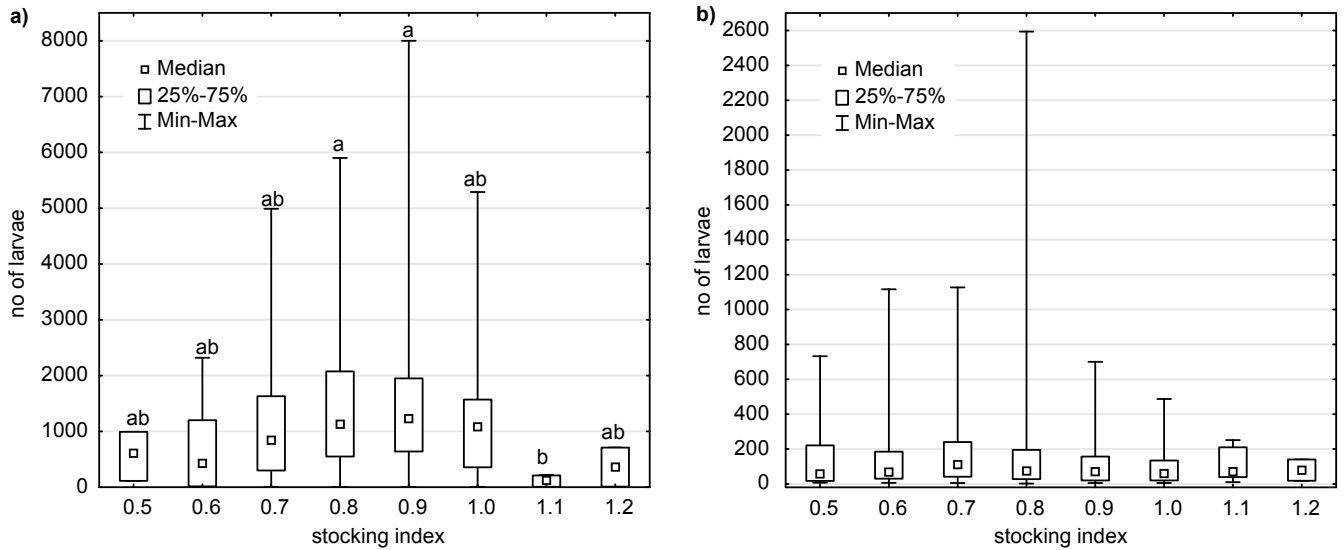


Figure 4. Mean number of (a) larvae of *D. pini* and (b) *G. virens* related to the stocking index

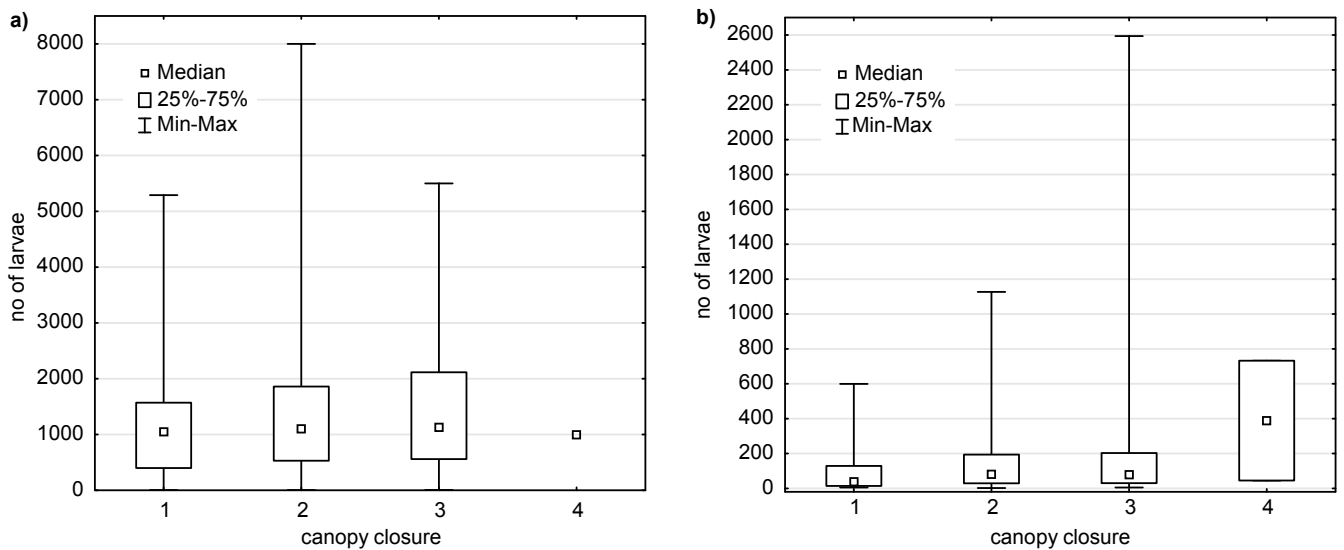


Figure 5. Mean number of larvae of (a) *D. pini* and (b) *G. virens* related to the canopy closure (1 – full, 2 – moderate, 3 – intermittent, 4 – loose)

In Europe, *D. pini* (Géri 1988) is considered to be the most important sawfly species from an economic point of view. In the northern zone of the European continent, there have been numerous gradations of this sawfly species, whereas there have been no mass appearances of *G. virens* (Hanski, 1989).

When analysing the influence of the selected stand features on the occurrence of *D. pini* and *G. virens*, differences in the habitat preferences of both species are noted. In the case of *D. pini*, the average number of larvae increased with stand age

class. Géri and Goussard (1984) also noted that *D. pini* prefers larger-sized trees, which is related to their more advanced age. De Somviele et al. (2004), studying the effects of *D. pini* larvae feeding in Finland during its gradation on 500,000 hectares between 1999 and 2000, found that the insect preferred older stands, while in younger ones, it damaged more trees intended for future harvest (thicker ones with more developed crowns). The second of the investigated species, *G. virens*, preferred stands in age class IV, while in older stands, a decrease in the number of its larvae was recorded. This would

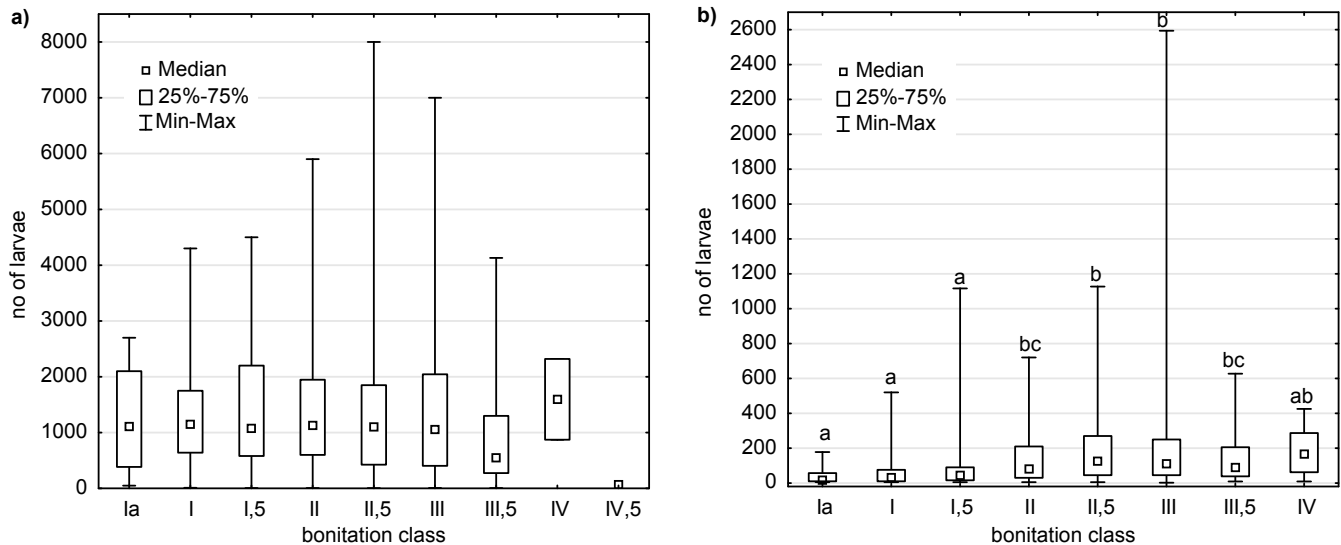


Figure 6. Mean number of larvae of (a) *D. pini* and (b) *G. virens* related to the stand bonitation

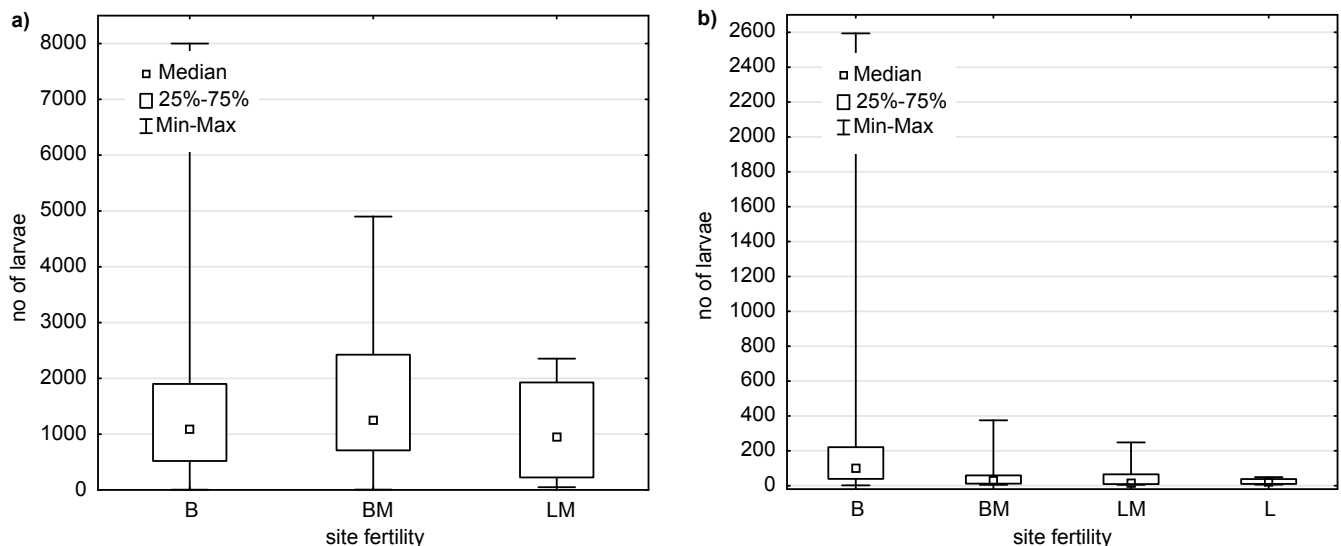


Figure 7. Mean number of larvae of (a) *D. pini* and (b) *G. virens* related to the site fertility: coniferous forest (B), mixed coniferous forest (BM), mixed deciduous forest (LM), deciduous forest (L)

indicate the different preferences of both tested species: *D. pini* to older stands and *G. virens* to medium age classes. Similar differences in preferences in this respect also occur in other, closely related insect species, for example, the pine web-spinning sawfly *Acantholyda posticalis* (Mats.), which usually prefers older stands, and the red-headed pine sawfly *A. erythrocephala* (L.), associated with younger stands (Kolk et al. 2009), although there are also known cases of changes in these dependencies (Button 1999).

The share of pine in the stand was not found to be a factor significantly influencing the number of occurring *D. pini* larvae, which may result from the fact that almost all the analysed stands had a high (at least 50%) share of this tree species. Géri and Goussard (1984) also did not find such a dependence. This indirectly confirms the information provided by Szujewski (1980) that in an area affected by the gradation, the number of wintering cocoons of *D. pini* and other defoliating insects is not significantly dependent on the presence of

deciduous species. In the case of *G. virens*, on the other hand, the share of pine in the stand proved to be a factor influencing the number of larvae, which was the highest in solid pine stands and decreased with the declining share of pine.

Both sawfly species were characterised by different habitat preferences regarding the stocking index of the stand. In the case of *D. pini*, the results indicate a preference of this species' larvae for stands with a stocking index at the level of 0.8 to 0.9, while in the case of *G. virens*, the differences resulting from the stand's stocking index was not found to be statistically significant. Sierpiński (1972) reports, according to Grimalskij (1971), that in 30-year old pine growing in poor habitats, the reduction of the stocking index from 1.0 to 0.7 had no significant impact on the occurrence of *D. pini*, while in fertile sites, it increased the resistance of stands to this insect species.

The canopy closure of the stand had no significant effect on the average number of larvae of both sawfly species, although according to Sierpiński (1972), referring to Schwerdtfeger's data (1957), the intensity of *D. pini*'s cocoon occurrence in autumn searches was higher with a looser canopy closure. Kielczewski et al. (1967) mentioned a much lower density of cocoons at full canopy closure of the stand, while Urban (1961) and Géri and Goussard (1984) pointed out the stronger defoliation due to the feeding of *D. pini* in less compact stands. Meanwhile, De Somviele et al. (2007) found a higher density of *D. pini* cocoons inside dense stands than in their fragmented edge zone, describing it as an edge effect. In the case of *G. virens*, on the other hand, a preference for stands with a looser canopy closure could be observed.

D. pini did not exhibit any preference for any specific site index of the stand, while the average number of *G. virens* larvae increased with higher site index classes, associated with increasingly less fertile stands. The data on the larval abundance of sawfly larvae was found to be insufficient to determine the preferences of these species with regard to habitat moisture. In general, however, it should be concluded that both sawflies appear to have a certain plasticity in terms of habitat characteristics, although in the case of *G. virens*, the results indicate that it tends to rather occur in poor habitats, as noted in the literature for *D. pini* (De Somviele et al., 2004).

5. Summary

1. The two studied sawfly species differed in their preference to some stand and habitat characteristics in the gradation areas.

2. The pine sawfly preferred older stands, with a stocking index from 0.8 to 0.9, while the share of pine, canopy closure or site index did not affect its abundance.

3. The *G. virens* sawfly preferred solid pine stands of medium age classes with a looser canopy closure and weaker site index in fresh coniferous habitat, while the stocking index did not significantly impact it.

Conflict of interest

The authors declare the lack of potential conflicts of interest.

Funding sources

The research was financed from the authors' own sources.

References

- Barre F., Milsant F., Palasse C., Prigent V., Goussard F., Géri C. 2002. Preference and performance of the sawfly *Diprion pini* on host and non-host plants of the genus *Pinus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 102: 229–237. DOI 10.1046/j.1570-7458.2002.00944.x.
- De Somviele B., Lyytikäinen-Saarenmaa P., Niemelä P. 2004. Sawfly (*Hym., Diprionidae*) outbreaks on Scots pine: effect of stand structure, site quality and relative tree position on defoliation intensity. *Forest Ecology and Management* 194: 305–317. DOI 10.1016/j.foreco.2004.02.023.
- De Somviele B., Lyytikäinen-Saarenmaa P., Niemelä P. 2007. Stand edge effects on distribution and condition of Diprionid sawflies. *Agricultural and Forest Entomology* 9: 17–30. DOI 10.1111/j.1461-9563.2006.00313.x
- Escherich K. 1942. Die Forstinsekten Mitteleuropas. Fünfter Band. Verlag Paul Parey, Berlin, 746 s.
- Gawęda P. 1996. Boreczniki kłopotliwe szkodniki – 1. *Las Polski* 1: 14–16.
- Gawęda P. 2011. Boreczniki – sposób postępowania w ochronie lasu. *Postępy techniki w leśnictwie* 116: 38–45.
- Gawęda P. 2012. Boreczniki sosnowe – prognozowanie i rozpoznawanie. *Biblioteczka Leśniczego* 338: 16 s.
- Géri C. 1988. The pine sawfly in central France, w: A.A. Berryman (ed.) Dynamics of forest insect populations. Patterns, causes, implications. Plenum Press, New York and London, 377–405. ISBN 978-1-4899-0789-9.
- Géri C., Goussard F. 1984. Evolution d'une nouvelle gradation de lophyre du pin (*Diprion pini* L.) dans le sud du Bassin Parisien. I. – Développement de la gradation jusqu'en 1982 et relation avec les facteurs du milieu. *Annales des Sciences Forestières* 41: 376–403.
- Górnaś E. 1989. Boreczniki. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 156 s. ISBN 83-09-01396-5.
- Grimalskij W. 1971. Vliánie polnoty na ustojčivost sosny k hvoegrizušimvreditelám. *Lesnoe Hozájstvo* 2: 69–71.
- Guzik G. 1999. Wpływ żyzności siedlisk i wieku drzewostanów na gradację osnui czerwonołowej (*Acantholyda erythrocephala* L.) na Śląsku. *Sylwan* 6: 61–71.

- Hanski I. 1989. Pine sawfly population dynamics: patterns, processes, problems. *OIKOS* 50: 327–335. DOI 10.2307/3565493.
- IOL 1988. Instrukcja ochrony lasu. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 303 s.
- IOL 2004. Instrukcja ochrony lasu. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa. 276 s. ISBN 83-88478-45-1.
- IUL 2012. Instrukcja zarządzania lasu. Część I. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 287 s. ISBN 978-83-61633-69-3.
- Kielczewski B., Szmidt A., Kadłubowski W. 1967. Entomologia leśna z zarysem akarologii. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 662 s.
- Kolk A., Starzyk J., Kinelski S., Dzwonkowski R. 2009. Atlas owadów uszkadzających drzewa leśne. Cz. 1., Multico, Warszawa, 253 s. ISBN 978-83-7073-858-7.
- PUL 1991a. Plan urządzenia lasu Nadleśnictwa Bydgoszcz na okres od 1.01.1992 r. do 31.12.2001 r. BULiGL O/Gdynia. Maszynopis.
- PUL 2001. Plan urządzenia lasu Nadleśnictwa Bydgoszcz na okres od 1.01.2002 r. do 31.12.2011 r. BULiGL O/Gdynia. Maszynopis.
- PUL 1991b. Plan urządzenia lasu Nadleśnictwa Kaliska na okres od 1.01.1992 r. do 31.12.2001 r. BULiGL O/Gdynia. Maszynopis.
- Schwerdtfeger F. 1957. Waldkrankheiten. II Auflage. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 509 s.
- Sierpiński Z. 1972. Wpływ zwarcia drzewostanów na zmiany w gęstości populacji szkodliwych owadów leśnych. *Sylvan* 2: 1–15.
- StatSoft Inc. 2009. Statistica for Windows (Computer program manual). Tulsa, OK: StatSoft, Inc. <http://www.statsoft.com> [20.01.2020].
- Szujecki A. 1980. Ekologia owadów leśnych. PWN, Warszawa, 602 s. ISBN 83-01-00692-7.
- Szujecki A. 1995. Entomologia leśna. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 820 s. ISBN 83-00-02893-5.
- Urban S. 1961. Auftreten und Verlauf der derzeitigen Massenvermehrung der Kiefernbuschhornblattwespe *Diprion pini* L. in der DDR. *Forst und Jagd* 11: 1–7.

Authors' contribution

P.G. – concept, collection, data organization and analysis, text preparation; W.G. – concept, data analysis, text preparation.

and *G. virens* in moss patches, even outside the outline of the crown (Gawęda, 2012). The larvae feed on pine needles in spring (1st generation) and in summer and autumn (2nd generation). However, when the spring swarm is spread over time, different stages of the same species can be found in the field (Gawęda, 2011). According to the authors' observations, two generations of *D. pini* occurred during one year, but in summer, the swarm of *imagines* producing the second generation may be joined by those that have just hatched – after a much extended period of time – from overwintering cocoons. Given the highest fecundity of females of this species among all the sawflies, especially those swarming in the summer, the number of second-generation larvae can be even up to four times higher than the first generation (own observations).

One can find a number of papers in the literature discussing the dependence of *D. pini* occurrence on environmental conditions, especially on the species composition of stands and the presence of deciduous admixtures (Géri, Goussard, 1984; De Somviele et al., 2004); however, they do not refer to the stands of northern Poland. On the other hand, publications on *G. virens* in this regard are scarce, limited to the references in textbooks (Escherich, 1942; Górnas, 1989; Szujecki, 1995). Therefore, a deeper understanding of the sawfly's preference in terms of the habitat characteristics of the forest may facilitate better forecasting of outbreaks. In the Toruń RDSF, out of the seven species of sawfly for which protective treatments are performed, *D. pini* accounts for 65% of the total area of these treatments. In the Gdańsk RDSF, on the other hand, four species of sawfly threatened the forest, of which *G. virens* accounted for 74% of the total treatment area for this group of insects.

The aim of this study was to determine the influence of selected environmental parameters on the occurrence (number of larvae) of *D. pini* and *D. virens* sawflies.

2. Methods

Study area

The study area encompassed two extensive areas: Puszcza Bydgoska (Bydgoszcz Forest District for the research on *D. pini*) and Bory Tucholskie (Kaliska Forest District for the research on *G. virens*). These areas are characterised by poor habitats and frequent occurrence of gradations of various insect pest species. The species composition is dominated by pine.

Data set

The study analysed the influence of selected stand and habitat characteristics on the average number of sawfly larvae. For this purpose, a database was created, organised in accordance with the system of forest sub-compartments (stands) in forest

compartments containing the number of larvae of these insects in tree crowns and selected elements of stand characteristics. The data on the occurrence of both species were from years of their gradation: *D. pini* in the Bydgoszcz Forest District in 1991, 1992, 2005 and 2011, and *G. virens* in the Kaliska Forest District in 1992, 1995, 1996 and 1997. Data on the number of sawfly larvae were obtained from forms provided by the forest inspectorates to the Forest Protection Team in Gdańsk. The forms were filled out after the trees were felled on a tarpaulin (IOL 1988, 2004). Stand age was determined on the basis of properly updated data contained in the forms. The remaining data on the characteristics of the stand and the habitat in these sub-compartments were taken from the relevant forest management plans (PUL 1991a,b, 2002). The following information was included in the database: forest district, sub-district, year of gradation, compartment, sub-compartment, stand and habitat characteristics with division into appropriate classes (IUL 2012) provided in Table 1 and the number of larvae from the tree felled on the tarpaulin in a given sub-compartment (individuals). The database contained information on 1255 sub-compartments, including 560 from Bydgoszcz Forest District and 695 from Kaliska Forest District. In the case of habitat moisture, however, no representative sample was collected for statistical analyses, as *D. pini* was found in stands of dry and fresh habitats, while *G. virens* – almost exclusively in fresh habitats. The total number of pine sawfly larvae in the analysed sections was 790 688 and of *G. virens* larvae – 97,825.



Figure 1. Location of the study areas within the boundaries of the regional directorates of State Forests: 1 – the Kaliska Forest District (RDSF in Gdańsk) in Bory Tucholskie Forest; 2 – the Bydgoszcz Forest District (RDSF in Toruń) in the Puszcza Bydgoska Forest

Table 1. Stand and site features used for the assessment of *D. pini* and *G. virens* preferences

Study variable	Classes – according to forest inventory data (PUL 1991a, b, 2001)	Number of classes
Share of pine	10% intervals, 100%=10	10
Age of pine	20-years intervals (I – 1–20 years, VI – 101–120 years)	6
Stocking index	every 0,1 based on tables (IUL 2012)	8
Canopy closure [%]	full (90–100), moderate (70–80), intermittent (50–60), loose (40), field assessment	4
Site fertility	coniferous forest (B), mixed coniferous forest (BM), mixed deciduous forest (LM), deciduous forest (L)	4
Site humidity	dry, fresh, wet, marshy	4
Bonitation class	Ia – IV,5 based on tables (IUL 2012)	9

Statistical analysis

Due to the lack of normality of the variable distribution, the significance of the differences in the number of larvae in the classes of the feature in question was tested using the non-parametric Kruskal–Wallis test (*K–W*) together with the *post-hoc* test. Statistical calculations and graphs were performed using Statistica 9 (Statsoft 2009).

3. Results

The occurrence of *D. pini* was limited to stands with the pine share defined as 3 (barely 1 stand) and 6–10. The average (\pm standard deviation) number of larvae in particular classes of pine share varied, from 1095 ± 873 at a pine share of 7 to 1910 ± 580 at 6, but the differences resulting from the pine share are not statistically significant (*K–W test: p=0.56*) (Fig. 2a). The average number of *G. virens* larvae in particular pine classes ranged from 25 ± 38 at 7 to 148 ± 191 at 10 (Fig. 2b). The differences resulting from the pine share are statistically significant (*K–W test: p<0.001*). However, they are only visible between the classes with a pine share equal to 6 and 10 (*p<0.05*).

The average number of *D. pini* larvae in the tree crown increased with the age of the stand, from 1061 ± 960 in the 2nd age class to 1931 ± 1671 in the 6th age class (Fig. 3a). The differences resulting from age are statistically significant (*K–W test: p<0.01*), but only between the 2nd and 4th and 5th age classes (*p<0.05*). In the case of *G. virens*, the average number of larvae in the tree crown increased from 68 ± 78 in the 2nd class to 204 ± 243 in the 4th class and then dropped to 146 ± 158 in 6th age class stands (Fig. 3b). The differences resulting from the stand age class are statistically significant (*K–W test: p<0.001*), which is particularly noticeable within classes 3–5 (*p<0.001*), as well as between classes 1 and 6 (*p<0.05*).

In terms of the stocking index, the average number of *D. pini* larvae was highest with a stocking index of 0.7 (1159 ± 1107) to 0.9 (1567 ± 1384), decreasing gradually with a declining stocking index and becoming significantly lower in classes above 1.0 (Fig. 4a). The differences resulting from the stocking index are statistically significant (*K–W test: p<0.001*), but only between classes 0.8–0.9 and 1.1 (*p<0.05*). In the case of *G. virens*, the average number of larvae was the highest in 0.5 (163 ± 262) and 0.7 (170 ± 183) stocking index classes, decreasing in higher classes and being the lowest in 1.2 (Fig. 4b). The differences resulting from the stocking index are not statistically significant (*K–W test: p=0.15*).

The highest average number of *D. pini* larvae was found in moderate (1442 ± 1287) and intermittent canopy closure (1438 ± 1218), slightly lower in full canopy closure (1194 ± 1054), and the lowest in loose canopy closure, represented by only 1 stand (Fig. 5a). The differences resulting from a stand's canopy closure are not statistically significant (*K–W test: p=0.64*). The average number of *G. virens* larvae was the highest also in loose canopy closures (388 ± 486) and much lower in the other classes, gradually decreasing to 95 ± 125 for full canopy closure (Fig. 5b). The differences resulting from the stand short canopy closure are not statistically significant (*K–W test: p=0.12*).

The average number of *D. pini* larvae in specific stand site index classes did not exhibit great variability – except for classes III,5 and IV,5 (Fig. 6a), with no statistically significant differences (*K–W test: p=0.27*), which indicates the lack of clear preferences of *D. pini* in this respect. In the case of *G. virens*, on the other hand, the average number of larvae increased from 41 ± 45 at site index Ia to 192 ± 294 at III and 183 ± 151 at site index class IV (Fig. 6b), which confirms its preference for less fertile stands. The effect resulting from the stand's site index class was statistically significant

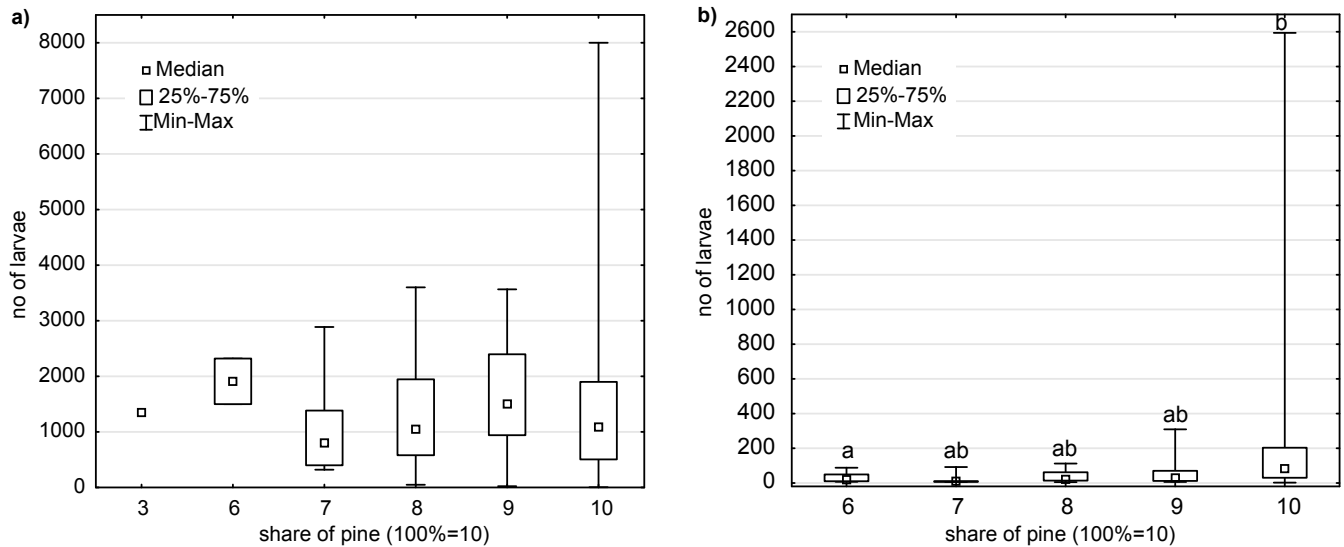


Figure 2. Mean number of larvae of (a) *D. pini* and (b) *G. virens* related to *P. sylvestris* representation in the stand

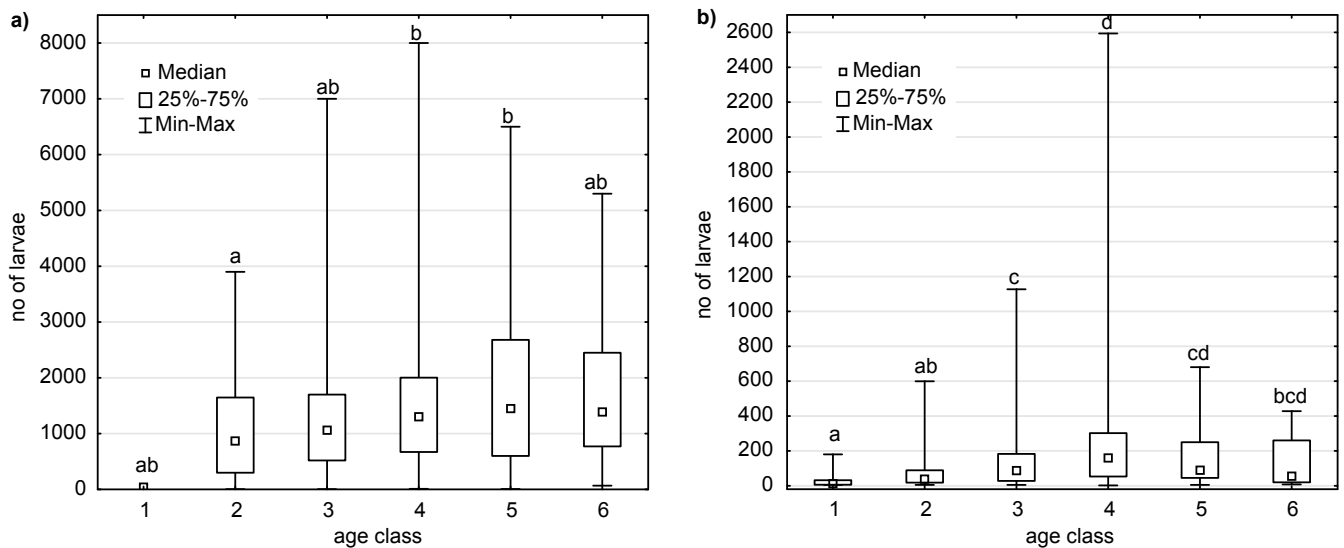


Figure 3. Mean number of larvae of (a) *D. pini* and (b) *G. virens* related to *P. sylvestris* 20-years age class

(*K-W* test: $p < 0.001$), but significant differences (at the level of at least $p < 0.05$) occurred only between certain groups.

D. pini did not exhibit any particular preference for fertility class – the highest average number of larvae was found in mixed coniferous forest habitat, slightly lower in coniferous forest habitat and lowest in the mixed deciduous forest (Fig. 7a); the differences resulting from habitat fertility were not statistically significant (*K-W* test: $p = 0.25$). On the other hand, *G. virens* preferred the sites with the poorest fertility – the average number of larvae was highest in coniferous sites

(166 ± 201) and decreased with increasing habitat fertility to 25 ± 18 in deciduous sites (Fig. 7b), but these differences were not statistically significant (*K-W* test: $p = 0.53$).

4. Discussion

Sawflies occurring in our forests, understood as a group of a dozen or so species, have not been thoroughly studied, and in many cases, there are gaps in the knowledge about their biology and ecology.

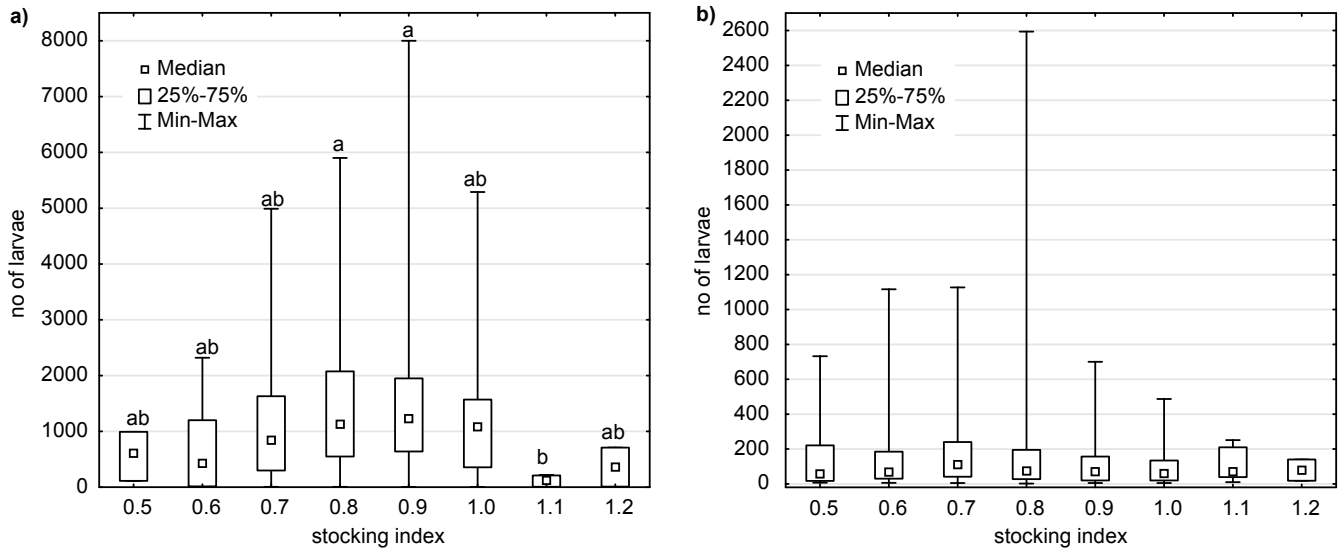


Figure 4. Mean number of (a) larvae of *D. pini* and (b) *G. virens* related to the stocking index

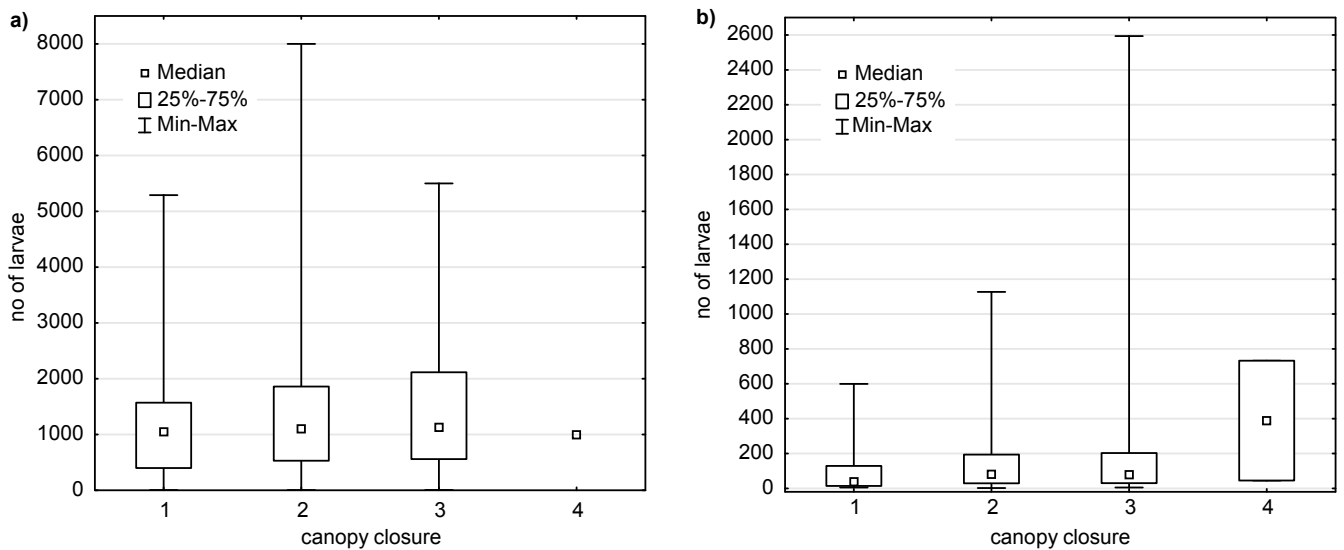


Figure 5. Mean number of larvae of (a) *D. pini* and (b) *G. virens* related to the canopy closure (1 – full, 2 – moderate, 3 – intermittent, 4 – loose)

In Europe, *D. pini* (Géri 1988) is considered to be the most important sawfly species from an economic point of view. In the northern zone of the European continent, there have been numerous gradations of this sawfly species, whereas there have been no mass appearances of *G. virens* (Hanski, 1989).

When analysing the influence of the selected stand features on the occurrence of *D. pini* and *G. virens*, differences in the habitat preferences of both species are noted. In the case of *D. pini*, the average number of larvae increased with stand age

class. Géri and Goussard (1984) also noted that *D. pini* prefers larger-sized trees, which is related to their more advanced age. De Somviele et al. (2004), studying the effects of *D. pini* larvae feeding in Finland during its gradation on 500,000 hectares between 1999 and 2000, found that the insect preferred older stands, while in younger ones, it damaged more trees intended for future harvest (thicker ones with more developed crowns). The second of the investigated species, *G. virens*, preferred stands in age class IV, while in older stands, a decrease in the number of its larvae was recorded. This would

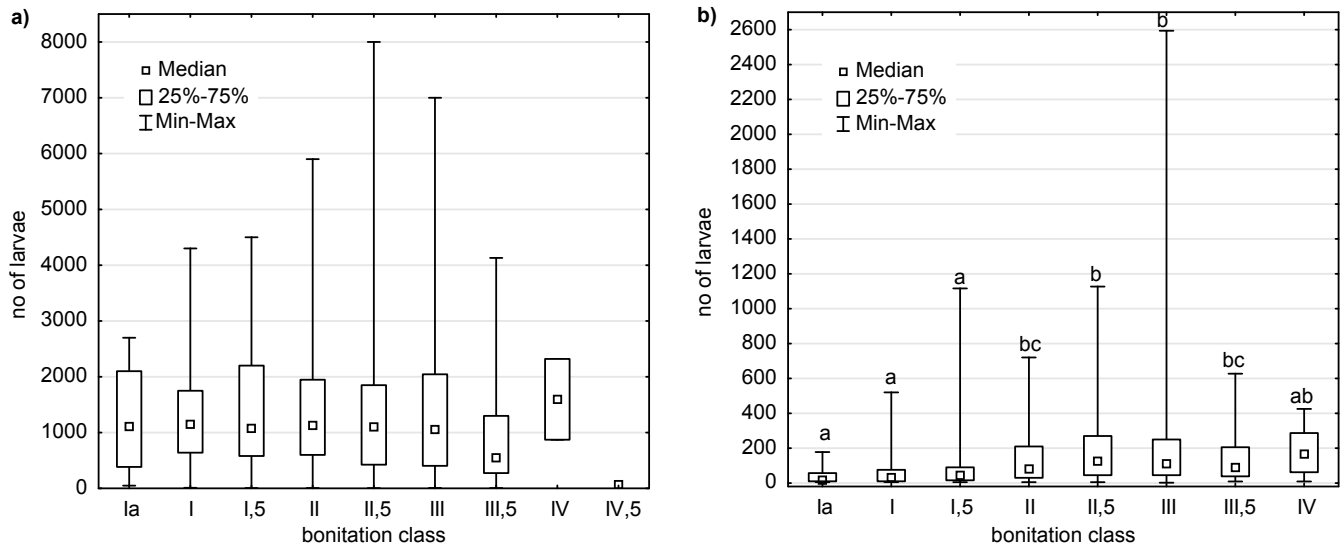


Figure 6. Mean number of larvae of (a) *D. pini* and (b) *G. virens* related to the stand bonitation

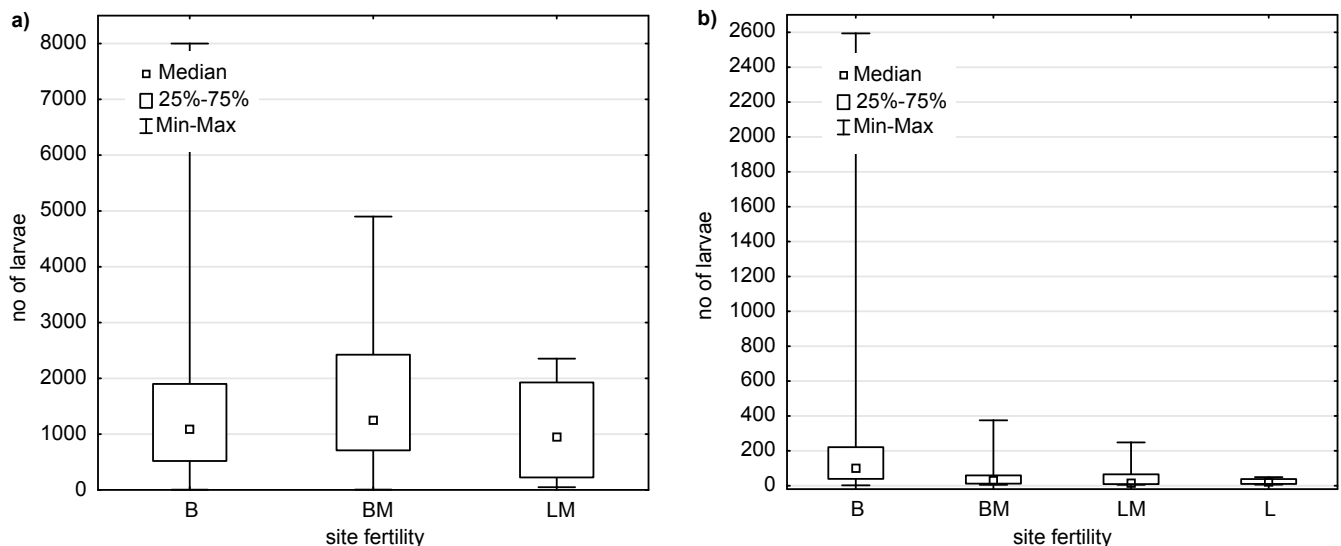


Figure 7. Mean number of larvae of (a) *D. pini* and (b) *G. virens* related to the site fertility: coniferous forest (B), mixed coniferous forest (BM), mixed deciduous forest (LM), deciduous forest (L)

indicate the different preferences of both tested species: *D. pini* to older stands and *G. virens* to medium age classes. Similar differences in preferences in this respect also occur in other, closely related insect species, for example, the pine web-spinning sawfly *Acantholyda posticalis* (Mats.), which usually prefers older stands, and the red-headed pine sawfly *A. erythrocephala* (L.), associated with younger stands (Kolk et al. 2009), although there are also known cases of changes in these dependencies (Button 1999).

The share of pine in the stand was not found to be a factor significantly influencing the number of occurring *D. pini* larvae, which may result from the fact that almost all the analysed stands had a high (at least 50%) share of this tree species. Géri and Goussard (1984) also did not find such a dependence. This indirectly confirms the information provided by Szujewski (1980) that in an area affected by the gradation, the number of wintering cocoons of *D. pini* and other defoliating insects is not significantly dependent on the presence of

deciduous species. In the case of *G. virens*, on the other hand, the share of pine in the stand proved to be a factor influencing the number of larvae, which was the highest in solid pine stands and decreased with the declining share of pine.

Both sawfly species were characterised by different habitat preferences regarding the stocking index of the stand. In the case of *D. pini*, the results indicate a preference of this species' larvae for stands with a stocking index at the level of 0.8 to 0.9, while in the case of *G. virens*, the differences resulting from the stand's stocking index was not found to be statistically significant. Sierpiński (1972) reports, according to Grimalskij (1971), that in 30-year old pine growing in poor habitats, the reduction of the stocking index from 1.0 to 0.7 had no significant impact on the occurrence of *D. pini*, while in fertile sites, it increased the resistance of stands to this insect species.

The canopy closure of the stand had no significant effect on the average number of larvae of both sawfly species, although according to Sierpiński (1972), referring to Schwerdtfeger's data (1957), the intensity of *D. pini*'s cocoon occurrence in autumn searches was higher with a looser canopy closure. Kielczewski et al. (1967) mentioned a much lower density of cocoons at full canopy closure of the stand, while Urban (1961) and Géri and Goussard (1984) pointed out the stronger defoliation due to the feeding of *D. pini* in less compact stands. Meanwhile, De Somviele et al. (2007) found a higher density of *D. pini* cocoons inside dense stands than in their fragmented edge zone, describing it as an edge effect. In the case of *G. virens*, on the other hand, a preference for stands with a looser canopy closure could be observed.

D. pini did not exhibit any preference for any specific site index of the stand, while the average number of *G. virens* larvae increased with higher site index classes, associated with increasingly less fertile stands. The data on the larval abundance of sawfly larvae was found to be insufficient to determine the preferences of these species with regard to habitat moisture. In general, however, it should be concluded that both sawflies appear to have a certain plasticity in terms of habitat characteristics, although in the case of *G. virens*, the results indicate that it tends to rather occur in poor habitats, as noted in the literature for *D. pini* (De Somviele et al., 2004).

5. Summary

1. The two studied sawfly species differed in their preference to some stand and habitat characteristics in the gradation areas.

2. The pine sawfly preferred older stands, with a stocking index from 0.8 to 0.9, while the share of pine, canopy closure or site index did not affect its abundance.

3. The *G. virens* sawfly preferred solid pine stands of medium age classes with a looser canopy closure and weaker site index in fresh coniferous habitat, while the stocking index did not significantly impact it.

Conflict of interest

The authors declare the lack of potential conflicts of interest.

Funding sources

The research was financed from the authors' own sources.

References

- Barre F., Milsant F., Palasse C., Prigent V., Goussard F., Géri C. 2002. Preference and performance of the sawfly *Diprion pini* on host and non-host plants of the genus *Pinus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 102: 229–237. DOI 10.1046/j.1570-7458.2002.00944.x.
- De Somviele B., Lyytikäinen-Saarenmaa P., Niemelä P. 2004. Sawfly (*Hym., Diprionidae*) outbreaks on Scots pine: effect of stand structure, site quality and relative tree position on defoliation intensity. *Forest Ecology and Management* 194: 305–317. DOI 10.1016/j.foreco.2004.02.023.
- De Somviele B., Lyytikäinen-Saarenmaa P., Niemelä P. 2007. Stand edge effects on distribution and condition of Diprionid sawflies. *Agricultural and Forest Entomology* 9: 17–30. DOI 10.1111/j.1461-9563.2006.00313.x
- Escherich K. 1942. Die Forstinsekten Mitteleuropas. Fünfter Band. Verlag Paul Parey, Berlin, 746 s.
- Gawęda P. 1996. Boreczniki kłopotliwe szkodniki – 1. *Las Polski* 1: 14–16.
- Gawęda P. 2011. Boreczniki – sposób postępowania w ochronie lasu. *Postępy techniki w leśnictwie* 116: 38–45.
- Gawęda P. 2012. Boreczniki sosnowe – prognozowanie i rozpoznawanie. *Biblioteczka Leśniczego* 338: 16 s.
- Géri C. 1988. The pine sawfly in central France, w: A.A. Berryman (ed.) Dynamics of forest insect populations. Patterns, causes, implications. Plenum Press, New York and London, 377–405. ISBN 978-1-4899-0789-9.
- Géri C., Goussard F. 1984. Evolution d'une nouvelle gradation de lophyre du pin (*Diprion pini* L.) dans le sud du Bassin Parisien. I. – Développement de la gradation jusqu'en 1982 et relation avec les facteurs du milieu. *Annales des Sciences Forestières* 41: 376–403.
- Górnaś E. 1989. Boreczniki. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 156 s. ISBN 83-09-01396-5.
- Grimalskij W. 1971. Vliánie polnoty na ustojčivost sosny k hvoegrizušimvreditelám. *Lesnoe Hozájstvo* 2: 69–71.
- Guzik G. 1999. Wpływ żyzności siedlisk i wieku drzewostanów na gradację osnui czerwonołowej (*Acantholyda erythrocephala* L.) na Śląsku. *Sylwan* 6: 61–71.

- Hanski I. 1989. Pine sawfly population dynamics: patterns, processes, problems. *OIKOS* 50: 327–335. DOI 10.2307/3565493.
- IOL 1988. Instrukcja ochrony lasu. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 303 s.
- IOL 2004. Instrukcja ochrony lasu. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa. 276 s. ISBN 83-88478-45-1.
- IUL 2012. Instrukcja zarządzania lasu. Część I. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, 287 s. ISBN 978-83-61633-69-3.
- Kielczewski B., Szmidt A., Kadłubowski W. 1967. Entomologia leśna z zarysem akarologii. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 662 s.
- Kolk A., Starzyk J., Kinelski S., Dzwonkowski R. 2009. Atlas owadów uszkadzających drzewa leśne. Cz. 1., Multico, Warszawa, 253 s. ISBN 978-83-7073-858-7.
- PUL 1991a. Plan urządzenia lasu Nadleśnictwa Bydgoszcz na okres od 1.01.1992 r. do 31.12.2001 r. BULiGL O/Gdynia. Maszynopis.
- PUL 2001. Plan urządzenia lasu Nadleśnictwa Bydgoszcz na okres od 1.01.2002 r. do 31.12.2011 r. BULiGL O/Gdynia. Maszynopis.
- PUL 1991b. Plan urządzenia lasu Nadleśnictwa Kaliska na okres od 1.01.1992 r. do 31.12.2001 r. BULiGL O/Gdynia. Maszynopis.
- Schwerdtfeger F. 1957. Waldkrankheiten. II Auflage. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 509 s.
- Sierpiński Z. 1972. Wpływ zwarcia drzewostanów na zmiany w gęstości populacji szkodliwych owadów leśnych. *Sylvan* 2: 1–15.
- StatSoft Inc. 2009. Statistica for Windows (Computer program manual). Tulsa, OK: StatSoft, Inc. <http://www.statsoft.com> [20.01.2020].
- Szujecki A. 1980. Ekologia owadów leśnych. PWN, Warszawa, 602 s. ISBN 83-01-00692-7.
- Szujecki A. 1995. Entomologia leśna. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 820 s. ISBN 83-00-02893-5.
- Urban S. 1961. Auftreten und Verlauf der derzeitigen Massenvermehrung der Kiefernbuschhornblattwespe *Diprion pini* L. in der DDR. *Forst und Jagd* 11: 1–7.

Authors' contribution

P.G. – concept, collection, data organization and analysis, text preparation; W.G. – concept, data analysis, text preparation.