

Rita Rakowska¹, Aleksandra Mazurkiewicz², Józef Mitka²

¹ Zakład Ekologii Roślin

Instytut Botaniki, Uniwersytet Jagielloński

ul. Gronostajowa 3, 30–387 Kraków

rita.rakowska@doctoral.uj.edu.pl

² Ogród Botaniczny

Instytut Botaniki, Uniwersytet Jagielloński

ul. Kopernika 27, 31–501 Kraków

j.mitka@uj.edu.pl

aleksandra.mazurkiewicz@doctoral.uj.edu.pl

Received: 30.03.2018

Reviewed: 10.07.2018

DŁUGOT ERMINOWA DYNAMIKA ZMIAN FREKWENCJI GATUNKÓW RUNA BORU MIESZANEGO *PINO- QUERCETUM* W POŁUDNIOWEJ CZĘŚCI PUSZCZY NIEPOŁOMICKIEJ (POŁUDNIOWA POLSKA)

Long-term dynamics of frequency in herb layer species of oak-pine
Pino-Quercetum forests in southern part of Niepołomice Forest
(southern Poland)

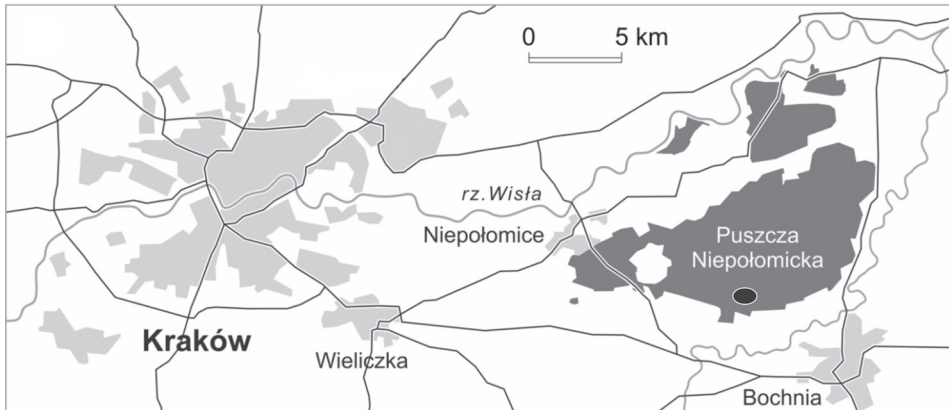
Abstract: In a time-span of c. forty years (1980–2016) changes in herb layer of the mixed oak-pine *Pino-Quercetum* forest in southern part of Niepołomice Forest were evaluated by the quantitative measure of species frequency. In 1980–1995 the site eutrophication was noted, as mesotrophic species increased. In 2016 the investigation on 20 plots at the same forest site was repeated, using the same method of plant species frequency evaluation. The site eutrophication was stopped, since probably climatic factor (snowy winters damaging tree crowns) was ceased. Instead, a new species structure was established, with lesser percentage of locally characteristic species: *Luzula pilosa*, *Pteridium aquilinum* and *Trientalis europaea*, almost totally withdrawing of *Stellaria longifolia*, and flourishing *Oxalis acetosella* and *Rubus plicatus*. Newly appearing, invasive species *Quercus rubra*, and especially *Padus serotina*, pose a serious risk for the future integrity of the forest plant community.

Key words: frequency of herb layer species, long-term forest dynamics, mixed oak-pine forests, Niepołomice Forest, permanent plots, *Pino-Quercetum*.

Wstęp

Puszcza Niepołomicka jest kompleksem leśnym o powierzchni około 10 tys. hektarów, położonym w zachodniej części Kotliny Sandomierskiej (Polska południowa), ok. 20–40 kilometrów na wschód od centrum Krakowa (Ryc. 1). Pierwotnie Puszcza była fragmentem obszaru leśnego, rozciągającym się od Karpat po Wyżynę Małopolską, później została rozczłonkowana i nazwa ta obecnie jest stosowana dla obszaru w widłach rzeki Wisły i Raby (Smólski 1981). Antro-

pogeniczne przekształcenia spowodowały znaczne zmiany puszczy pierwotnej (Smólski 1981). Naturalne drzewostany zostały wyeksploatowane i zastąpione sztucznymi odnowieniami – głównie sosnowymi (Mączyński 1981).



Ryc. 1. Położenie Puszczy Niepołomickiej. Zaznaczono teren badań. Źródło: Suliński 1981, zmienione.

Fig. 1. Localization of the Niepołomice Forest. The area of investigations marked. Source: Suliński 1981, modified.

W ostatnich dziesięcioleciach, zwłaszcza w latach 1960–1990, środowisko przyrodnicze i drzewostany Puszczy uległy znacznym przemianom. Był to rezultat między innymi wpływu zanieczyszczeń powietrza SO_2 i metalami ciężkimi: Cd, Pb, Zn, Ni, Cr i Cu, pochodzącymi z huty żelaza (dawniej im. Lenina, obecnie ArcelorMittal Poland S.A.) i aglomeracji miejsko-przemysłowej miasta Krakowa (Grodziński 1981; Grodziński i in. 1984). Nie stwierdzono ścisłej zależności między zawartością metali ciężkich a objawami zamierania drzewostanu, natomiast wykazano uszkadzający wpływ SO_2 na aparat asymilacyjny sosny, wyrażający się spadkiem aktywności fotosyntetycznej w granicach 13–18% (Grodziński 1987). Równocześnie zauważono, że zanieczyszczenie pyłami, w skład których wchodzi również mineralne pierwiastki odżywcze, przyspiesza wzrost drzew. Zjawisku sprzyjał fakt, iż od lat 1985–1995 zanieczyszczenie SO_2 w Puszczy Niepołomickiej posiada tendencję spadkową (Weiner i in. 1997), utrzymującą się na obszarze całej Polski (Czarnecka i in. 2016; Dębski i in. 2016). Można przypuszczać, że obecny poziom zanieczyszczenia powietrza w niewielkim stopniu wpływa na środowisko Puszczy Niepołomickiej, w porównaniu do ostatnich dekad 20. wieku.

Bliskość położenia kompleksu leśnego, w stosunku do krakowskiego ośrodka naukowego, zaowocowało badaniami fizjograficznymi prowadzonymi tu od 19. wieku (Berdau 1859; Krupa 1877). Zwłaszcza badania florystyczne (Dubiel 2003), a także fitosocjologiczne i ekologiczne, prowadzone tu od końcowych

dekad 20. wieku, pozwalają na długoterminowe porównania stanu środowiska przyrodniczego (Grodziński i in. 1984).

Celem pracy jest określenie długoterminowej (1980–2016) dynamiki zmian frekwencji gatunków runa leśnego boru mieszanego *Pino-Quercetum* w południowej części Puszczy Niepołomickiej. Przeprowadzone pod koniec 20. wieku badania wskazywały na ustępowanie w tej części Puszczy Niepołomickiej gatunków borowych i zwiększanie frekwencji mezotroficznych gatunków grądowych. Szczególnym zamierzeniem autorów jest odpowiedź na pytanie, czy obserwowane wówczas zjawisko postępującej eutrofizacji siedliska boru mieszanego (Mitka 1995) jest zjawiskiem efemerycznym, czy trwałym. Odpowiedź na to pytanie ma związek z nierozwiązanym dotychczas zagadnieniem trwałości biocenozy boru mieszanego *Pino-Quercetum* i miejsca syntaksonu w fitosocjologicznej klasyfikacji zbiorowisk leśnych w Polsce (Matuszkiewicz 2001).

W pracy przyjęto nazewnictwo leśnych zbiorowisk roślinnych według Medwecka-Kornaś (1972), a nazwy roślin naczyniowych za Mirek i in. (2002).

Materiały i metody

Badania przeprowadzono w zbiorowisku świeżego boru mieszanego dębo-sosnowego *Pino-Quercetum*, w typowym siedlisku obejmującym niżej położone fragmenty eolicznych wydm i plejstocenijskich stożków napływowych, z przesortowanym materiałem żwirowo-piaszczystym i gliniasto-piaszczystym (Gruszczyk 1981) w okolicy Stanisławic (Ryc. 1). Bór mieszany zajmował w drugiej połowie ubiegłego wieku ponad połowę obszaru (51,8%) Puszczy Niepołomickiej (Bednarz 1981).

Płaty boru trzęślicowego *Pinus-Molinia* i zespół boru bagiennego *Vaccinio uliginosi-Pinetum* zajmują niewielką powierzchnię (Bednarz 1981) i nie są przedmiotem niniejszych badań. Pozostałe zbiorowiska leśne: grądy (*Tilio-Carpinetum*), łągi wiązowe (*Fraxino-Ulmetum campestris*), łągi jesionowo-olszowe (*Circaeo-Alnetum*) i olsy *Carici elongatae-Alnetum* występują przede wszystkim w północnej części Puszczy Niepołomickiej (Ferchmin 1976; Ferchmin, Medwecka-Kornaś 1976; Ćwikowa, Lesiński 1981; Feliksik 1981; Myczkowski 1981).

W latach 1979–1995 ubiegłego wieku Mitka (1995 i dane niepublikowane) przeprowadził badania frekwencji gatunków runa boru mieszanego na dwóch stałych poletkach w oddziałach leśnych 268 w Stanisławicach (Alexandrowicz, Łaszczyński 1979) i 273 w Kłaju. Badania te były związane z zagadnieniem wpływu nawożenia mineralnego NPK i dolomitowania na runo leśne (Mitka, Zemanek 1986; Mitka i in. 1987; Mitka 1987). Do analiz porównawczych wybrano dane frekwencji pochodzące z dwóch poletek kontrolnych doświadczenia.

Ponieważ nie przetrwały słupki graniczne poletek badawczych, w lipcu i sierpniu 2016 roku w oddziale leśnym nr 268 w miejscowości Stanisławice wy-

brano 20 lokalizacji w płatach siedliskowych reprezentujących współczesną postać świeżego boru mieszanego (Rakowska 2017). Kryterium doboru płatów był m.in. dominujący udział borówki czernicy *Vaccinium myrtillus*, nawiązując w ten sposób do struktury dominacji gatunkowej runa leśnego z początkowego okresu badań. W wybranych, według kryteriów fitosocjologicznych, 20 płatach roślinnych wykonano zdjęcia fitosocjologiczne wg metody Braun-Blanqueta (Mazurkiewicz i in. 2018). Pomiaru frekwencji w 2016 roku dokonano według tej samej metodyki jak w okresie wcześniejszym. W każdym z płatów wytyczono poletko badawcze 10×10 metrów (100 m^2), które następnie podzielono na 25 kwadratów 2×2 m. W każdym kwadracie pobrano 4 próby losowe. Występowanie gatunków runa w pojedynczej próbie (kolistej powierzchni próbnej) określono jako frekwencję nasadowych części roślin (Kershaw 1978). Powierzchnią próbną była metalowa obręcz o średnicy 45 centymetrów, czyli $1/7 \text{ m}^2$. W każdym z poletek wykonano próbkowanie na podstawie $n=100$ próby systematyczno-losowej. Wartości frekwencji z lat 1980–1995, ze względu na synchroniczność zmian na dwóch poletkach, uśredniono. Dane frekwencji z roku 2016 przedstawiono dla wszystkich dwudziestu poletek.

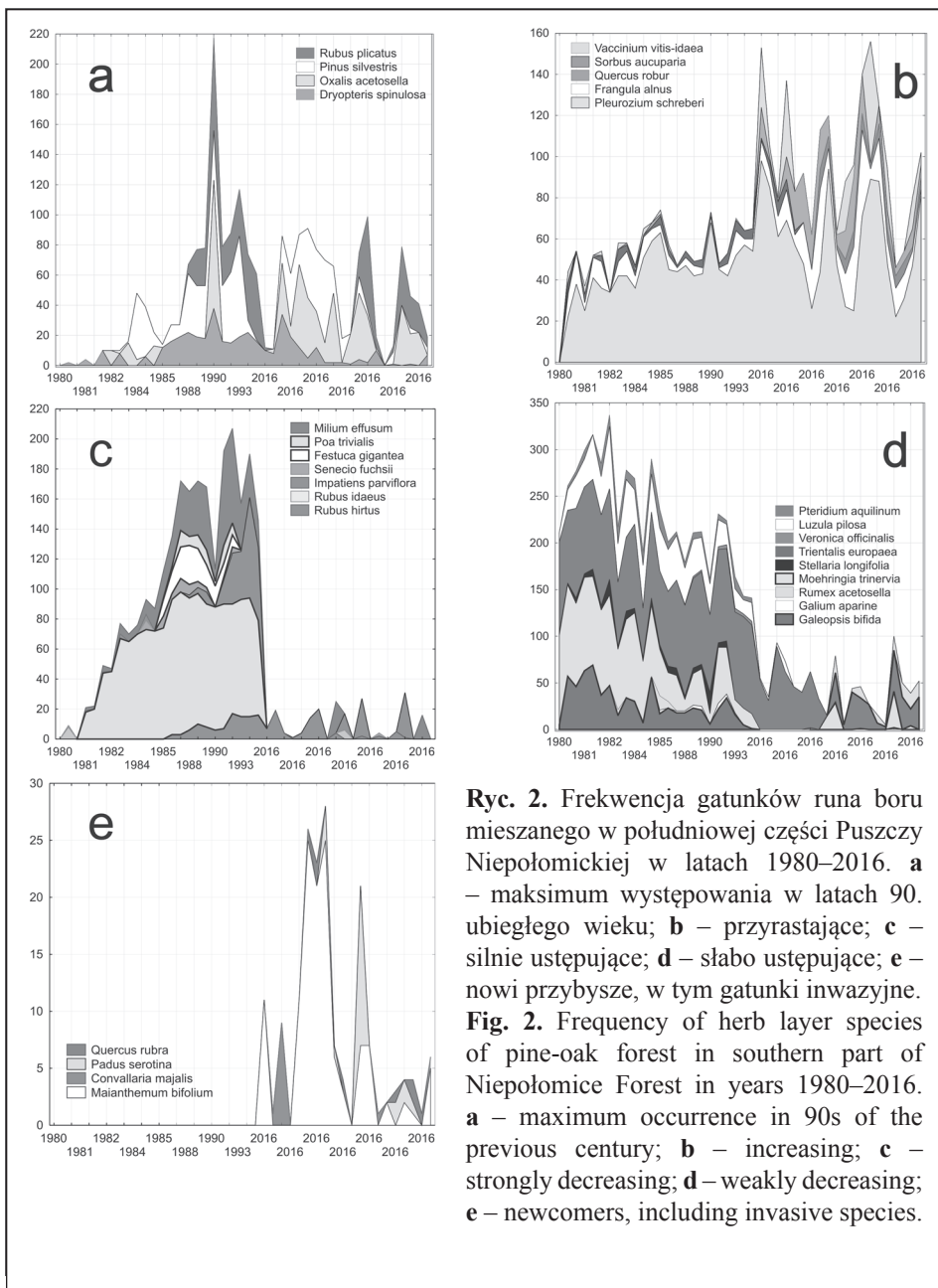
Wyniki z lat 70., 80. i 90. dwudziestego wieku (Mitka 1995 i dane niepublikowane) oraz badań najnowszych z 2016 roku poddano analizie statystycznej wykonując trzy testy nieparametryczne: *U* Manna-Whitneya, Kołmogorowa-Smirnowa i Kruskala-Wallisa z wykorzystaniem programu STATISTICA 12 firmy StatSoft. W każdym z testów przyjęto poziom istotności na poziomie $p = 0,05$. Na podstawie otrzymanych wyników gatunki przydzielono do jednej z czterech grup: 1) z maksimum frekwencji w latach 90. ubiegłego wieku, 2) zwiększających frekwencję, 3) silnie ustępujących i 4) słabo ustępujących. Odrębną grupę tworzą nowi przybysze.

Wyniki

Podczas badań zanotowano 64 gatunki roślin naczyniowych i uwzględniono jeden gatunek mchu *Pleurozium schreberi*. Spośród nich 19 posiadało sumaryczną frekwencję powyżej 200%. Gatunki te poddano analizie statystycznej.

Do gatunków zaliczonych do grupy z maksimum występowania w latach 90. ubiegłego wieku należą: *Dryopteris spinulosa*, *Oxalis acetosella*, *Pinus sylvestris* i *Rubus plicatus* (Ryc. 2a). Do grupy gatunków zwiększających frekwencję zaliczono: *Frangula alnus*, *Pleurozium schreberi*, *Sorbus aucuparia*, *Quercus robur* i *Vaccinium vitis-idaea* (Ryc. 2b). Do grupy gatunków silnie ustępujących należą: *Festuca gigantea*, *Impatiens parviflora*, *Milium effusum*, *Poa trivialis*, *Senecio fuchsii*, *Rubus hirtus* i *R. idaeus* (Ryc. 2c). Gatunki należące do grupy słabo ustępujących to: *Galeopsis bifida*, *Galium aparine*, *Luzula pilosa*, *Moehringia trinervia*, *Pteridium aquilinum*, *Rumex acetosella*, *Stellaria longifolia*,

Trientalis europaea i *Veronica officinalis* (Ryc. 2d). Do grupy gatunków nowo pojawiających się należą: *Convallaria majalis* i *Maianthemum bifolium*, w tym gatunki uznane za inwazyjne: *Padus serotina* i *Quercus rubra* (Tokarska-Guzik i in. 2012) (Ryc. 2e).



Ryc. 2. Frekwencja gatunków runa boru mieszanego w południowej części Puszczy Niepołomickiej w latach 1980–2016. **a** – maksimum występowania w latach 90. ubiegłego wieku; **b** – przyrastające; **c** – silnie ustępujące; **d** – słabo ustępujące; **e** – nowi przybysze, w tym gatunki inwazyjne. **Fig. 2.** Frequency of herb layer species of pine-oak forest in southern part of Niepołomice Forest in years 1980–2016. **a** – maximum occurrence in 90s of the previous century; **b** – increasing; **c** – strongly decreasing; **d** – weakly decreasing; **e** – newcomers, including invasive species.

Dyskusja

Badania frekwencji gatunków runa mieszanego boru sosnowo-dębowego w południowej części Puszczy Niepołomickiej, prowadzone w latach 1980–1995, obrazują rzeczywistą ich dynamikę ze względu na pomiary wykonywane na trwałych poletkach. Badania wykonane w 2016 roku zostały wykonane na próbie reprezentatywnej płatów, znajdujących się w tym samym siedlisku świeżego boru mieszanego. Przyjęto założenie, że zmiany długoterminowe posiadają charakter globalny (przynajmniej w skali Puszczy Niepołomickiej) i próba statystyczna, w tym przypadku wynosząca dwadzieścia powtórzeń, pozwoli na określenie aktualnej struktury runa w badanym siedlisku boru mieszanego.

Przeprowadzone badania wykazały istotne zmiany frekwencji gatunków w okresie prawie czterdziestu lat. Jak wcześniej wykazano (Mitka 1995), zmiany te miały charakter kierunkowy. Stwierdzono wówczas synchroniczny (na dwóch poletkach kontrolnych oddalonych od siebie o ok. 5 km) rozwój w południowej części Puszczy Niepołomickiej mezotroficznych gatunków grądowych, przede wszystkim traw: *Festuca gigantea*, *Milium effusum* i *Poa trivialis*. Do tej grupy należały także gatunki zrębowe/siedlisk zaburzonych: *Rubus hirtus*, *R. idaeus*, *Senecio fuchsii* oraz gatunek inwazyjny *Impatiens parviflora* (Tokarska-Guzik i in. 2012). Wynik ten zinterpretowano wówczas jako tendencję zmian, zmierzającą do przebudowy zbiorowiska boru mieszanego w kierunku zbiorowiska o charakterze grądowym. Jako przyczynę tych zmian w latach 1980–1995 podano postępującą eutrofizację siedliska boru mieszanego (Mitka 1995). Jego przyczyną mogła być wzmożona mineralizacja materii organicznej i wprowadzenie do obiegu związków azotu.

Podobny charakter zmian w siedlisku boru mieszanego zaobserwowano wówczas także na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego (Medwecka-Kornaś 2006; Medwecka-Kornaś, Gawroński 1990, 1991). Polegały one na większym udziale, niż trzydzieści lat wcześniej, gatunków należących do klasy *Quercus-Fagetum* (grądowych), w tym wymienionych gatunków mezotroficznych traw. Równocześnie odnotowano wyraźny spadek udziału gatunków borowych (acidofilnych) z klasy *Vaccinio-Piceetum*. Zmiany te przypisano wpływowi zanieczyszczeń powietrza na zbiorowisko leśne. Czynnikiem ten wywoływał uszkodzenie aparatu asymilacyjnego i powodował osłabienie żywotności drzew iglastych. Podobnie, jak w Puszczy Niepołomickiej, zmiany te ostatecznie przypisano eutrofizacji siedliska leśnego w wyniku zwiększonego tempa mineralizacji ściółki leśnej. W Puszczy Niepołomickiej na zmianę trofizmu równocześnie zareagowały spadkiem gatunki acidofilne, np. *Vaccinium myrtillus* (Mitka 1995), w tym lokalnie wyróżniające bór mieszany: *Luzula pilosa*, *Pteridium aquilinum*, *Trientalis europaea*, *Veronica officinalis* i *Stellaria longifolia* (Medwecka-Kornaś 1972; Bednarz 1981).

Podobną tendencję zmian zaobserwowano również w borze mieszanym *Pino-Quercetum* w Lesie Wolskim w Krakowie (Medwecka-Kornaś 2011). Na podstawie analizy zdjęć fitosocjologicznych wykonanych w lesie miejskim, pochodzących z lat 1946–1947, 1976–1980 i 2009 roku, stwierdzono zanik gatunków acidofilnych: *Melampyrum pratense*, *Trientalis europaea*, *Orthilia secunda* i *Pyrola minor*. Drastycznie zmniejszyły zakres występowania *Luzula pilosa* i *Vaccinium myrtillus*. W zamian zwiększyły udział gatunki związane z zaburzonymi siedliskami leśnymi: *Carex brizoides*, *Impatiens parviflora* i *Rubus hirtus*.

Biorąc pod uwagę udział gatunków runa boru mieszanego w Puszczy Niepołomickiej w roku 2016, w porównaniu do okresu z końca ubiegłego wieku, nie stwierdzono tendencji dalszego rozwoju gatunków mezotroficznych. Oznacza to, iż prawdopodobnie ustało działanie czynnika ekologicznego powodującego eutrofizację siedliska leśnego z końcem ubiegłego wieku. Mógł być nim, obok wielu możliwych przyczyn, czynnik klimatyczny. Częstym zjawiskiem obserwowanym podczas badań terenowych (1980–1995) w południowej części Puszczy Niepołomickiej była okiść powodująca śniegołomy i w konsekwencji przerzedzenie koron drzew. W rezultacie tych oddziaływań nastąpiło zwiększenie dopływu energii słonecznej (insolacji) do dolnych warstw zbiorowiska leśnego. Również zmniejszona ilość opadów atmosferycznych, notowana w niektórych okresach wegetacyjnych IV–IX lat 80. ubiegłego wieku, nie przekraczająca 300 mm, mogła powodować okresową suszę i przyczynić się do zwiększenia tempa mineralizacji ściółki leśnej i uwolnienia do obiegu pierwiastków odżywczych (Mitka 1993). Związek między prześwietleniem koron drzew w zbiorowisku leśnym boru mieszanego *Pino-Quercetum* a zwiększeniem udziału *Frangula alnus*, *Impatiens parviflora*, *Milium effusum*, *Pteridium aquilinum* i *Rubus hirtus* został również opisany przez Stachurską (1995, 1998) z obszaru Pogórza Wielickiego.

Odnotowane w niniejszych badaniach powstrzymanie tendencji rozwoju gatunków mezotroficznych nie doprowadziło do odtworzenia struktury runa boru mieszanego z początkowego okresu badań. Dotyczy to przede wszystkim frekwencji występowania niektórych gatunków borowych, wyróżniających lokalnie zbiorowisko boru mieszanego, która uległa zmniejszeniu. Należą tu: *Luzula pilosa*, *Pteridium aquilinum* i *Trientalis europaea*. Praktycznie zanikła *Stellaria longifolia*. Być może proces zaniku tych gatunków nie jest trwały i posiada charakter fluktuacji. W zamian zwiększyły frekwencję gatunki krzewów: *Frangula alnus* i *Sorbus aucuparia*, w mniejszym stopniu gatunek drzewiasty *Quercus robur*. Towarzyszą im, z relatywnie wysokimi wartościami frekwencji *Rubus plicatus* i *Oxalis acetosella*.

Na odrębną uwagę zasługują gatunki nowo pojawiające się, do których należą inwazyjne *Padus serotina* i *Quercus rubra* (Tokarska-Guzik i in. 2012). Według Solona (2007) *P. serotina* stwarza poważne zagrożenie dla zbiorowiska boru mieszanego w Puszczy Kampinoskiej. To samo można stwierdzić w przypadku Puszczy Niepołomickiej (Gazda, Fijała 2010).

Odnotowanie *Convallaria majalis* i *Maianthemum bifolium* jako gatunków nowych dla zbiorowiska boru mieszanego posiada charakter względny, wynikający z zastosowanej metodyki badań. Należy jednak podkreślić, iż stwierdzona w 2016 roku wysoka stałość i frekwencja występowania *M. bifolium* sprawia, iż gatunek ten może zostać uznany za lokalnie wyróżniający bór mieszany dębowo-sosnowy *Pino-Quercetum* (Bednarz 1981).

Reasumując otrzymane wyniki dotyczące długoterminowych zmian runa boru mieszanego w Puszczy Niepołomickiej należy podkreślić relatywną trwałość tego zbiorowiska. Pomimo początkowo silnej tendencji zmian w kierunku zbiorowiska o charakterze grądowym (eutrofizacja siedliska), nie okazała się jednak trwała. Niepokojący z punktu widzenia fitosocjologicznej tożsamości boru mieszanego jest zanik gatunków runa leśnego: *Luzula pilosa*, *Trientalis europaea*, *Stellaria longifolia* i *Veronica officinalis*. Utrzymanie się tej tendencji może zagrozić istnieniu tego zbiorowiska leśnego.

Podsumowanie i wnioski

1. Tendencja zmian runa boru mieszanego sosnowo-dębowego *Pino-Quercetum* obserwowana w latach 1980–1995 (Mitka 1995), związana z eutrofizacją siedliska leśnego Puszczy Niepołomickiej (prawdopodobnie wywołana czynnikami mikroklimatycznymi i antropogenicznymi), nie została potwierdzona na podstawie badań przeprowadzonych w 2016 roku. W konsekwencji w płatach siedliska świeżego boru mieszanego w dalszym ciągu duży udział posiadają obecnie gatunki o charakterze borowym, w tym *Pleurozium schreberi*.
2. Mniejszą frekwencję, w porównaniu z okresem wyjściowym, posiadają gatunki uważane za lokalnie wyróżniające bór mieszany: *Luzula pilosa*, *Pteridium aquilinum* i *Trientalis europaea*. Być może zmiana ta posiada charakter fluktuacyjny i związana jest z większym, niż uprzednio, udziałem gatunków krzewiastych *Frangula alnus* i *Sorbus aucuparia*. Towarzyszą im *Oxalis acetosella* i *Rubus plicatus*. Gdyby tendencja ta została utrzymana, może zagrozić tożsamości fitosocjologicznej płatów zespołu boru mieszanego.
3. Niekorzystną zmianą, zagrażającą prawdopodobnie w przyszłości istnieniu zbiorowiska, jest pojawienie się w Puszczy Niepołomickiej gatunków inwazyjnych: *Padus serotina* i *Quercus rubra*.
4. Pomimo tendencji spadkowej udziału gatunków wyróżniających, integralność płatów zespołu należących do boru mieszanego w południowej części Puszczy została zachowana. Nie oznacza to jednak, iż udział fragmentów boru mieszanego *Pino-Quercetum* w Puszczy Niepołomickiej nie uległ w ostatnim okresie czasu zmniejszeniu.

Podziękowania

Badania sfinansowano ze środków na działalność statutową Instytutu Botaniki UJ.

Literatura

- Alexandrowicz B.W., Łaszczyński A. 1979. Wstępne rozpoznanie siedliskowych typów lasu i charakteru środowiska leśnego Puszczy Niepołomickiej. *Acta Agr. Silv.*, Ser. Silv. 18: 3–18.
- Bednarz Z. 1981. Bory Puszczy Niepołomickiej. W: A. S. Kleczkowski (red.) *Studia Ośrodka Dokument. Fizjogr. Polskiej Akademii Nauk* 9: 89–116.
- Berdau F. 1859. *Flora Cracoviensis*. Typis C. R. Universitatis Jagellonicae, Cracoviae.
- Ćwikowa A., Lesiński J.A. 1981. Florystyczne zróżnicowanie zbiorowisk aktualnej roślinności leśnej Puszczy Niepołomickiej. W: A. S. Kleczkowski (red.) *Studia Ośrodka Dokument. Fizjogr. Polskiej Akademii Nauk* 9: 159–196.
- Czarnecka L., Dębska B., Gołębiowska K., Gondek E., Główka A., Konieczna A., Listwan R., Litwin E., Łęczycka D., Machalska A., Ogar M., Para I., Pająk B., Prajsnar T., Raczek T., Rzepka N., Synowiec K., Zając M. (red. B. Pająk) 2016. Raport o stanie środowiska w województwie małopolskim w latach 2013–2015. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Krakowie, Kraków, ss. 9–29.
- Dębski B., Olecka A., Bebkiewicz K., Kargulewicz I., Rutkowski J., Zasina D., Zimakowska-Laskowska M., Żaczek M. 2016. Krajowy bilans emisji SO_2 , NO_x , CO , NH_3 , NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 2013–2014 w układzie klasyfikacji SNAP i NFR. Raport podstawowy. IOŚ-PIB, KOBiZ, Warszawa.
- Dubiel E. 2003. Rośliny naczyniowe Puszczy Niepołomickiej. *Vascular plants of the Niepołomice Forest*. *Prace Botaniczne* 37: 1–313.
- Feliksik E. 1981. Olesy Puszczy Niepołomickiej. W: A. S. Kleczkowski (red.) *Studia Ośrodka Dokument. Fizjogr. Polskiej Akademii Nauk* 9: 151–158.
- Ferchmin M. 1976. Oles *Carici elongatae-Alnetum* oraz zbiorowiska ze związków *Salicion* i *Alno-Padion* w północnej części Puszczy Niepołomickiej. *Studia Naturae, Seria A* 13: 107–142.
- Ferchmin M., Medwecka-Kornaś A. 1976. Grądy północnej części Puszczy Niepołomickiej. *Studia Naturae, Seria A* 13: 143–169.
- Gazda A., Fijała M. 2010. Obce gatunki drzewiaste w południowym kompleksie Puszczy Niepołomickiej. *Sylvan* 154: 333–340.
- Grodzińska K. 1981. Zawartość siarki ogólnej w szpilkach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) z Puszczy Niepołomickiej. W: A. S. Kleczkowski (red.) *Studia Ośrodka Dokument. Fizjogr. Polskiej Akademii Nauk* 9: 293–301.
- Grodziński W. 1987. Disturbances of forest function under the stress of air pollution. In: L. Kairiukstis, S. Nilsson, A. Straszak (eds.) *Proceedings of the Workshop on Forest Decline and Reproduction. Regional and Global Consequences*, Kraków, Poland (23–27 March 1987), ss. 189–190.
- Grodziński W., Weiner J., Maycock P. 1984 (eds.) *Forest ecosystems in industrial regions. Studies on the cycling of energy nutrients and pollutants in the Niepołomice Forest Southern Poland*. *Ecological Studies* 49, Springer Verl., Berlin – Heidelberg – New York – Tokyo.

- Gruszczyk A. 1981. Gleby Puszczy Niepołomickiej. W: A. S. Kleczkowski (red.) Studia Ośrodka Dokumentacji Fizjograficznej Polskiej Akademii Nauk 9: 71–88.
- Kershaw K.A. 1978. Ilościowa i dynamiczna ekologia roślin. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa.
- Krupa J. 1877. Wykaz roślin zebranych w obrębie W. Ks. Krakowskiego oraz w puszczy Niepołomickiej w r. 1876. Sprawozdania Komisji Fizjograficznej 11: 84–128.
- Matuszkiewicz W. 2001. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Mazurkiewicz A., Rakowska R., Różański W., Mitka J. 2018. Czy zbiorowisko dębowo-sosnowego boru mieszanego (*Pino-Quercetum*) dalej istnieje w południowej części Puszczy Niepołomickiej? Roczn. Bieszczadzkie 26: 105–124.
- Mączyński M., 1981. Drzewostany Puszczy Niepołomickiej. W: A. S. Kleczkowski (red.) Studia Ośrodka Dokument. Fizjogr. Polskiej Akademii Nauk 9: 197–204.
- Medwecka-Kornaś A. 1972. Zespoły leśne i zaroślowe. W: W. Szafer, K. Zarzycki (red.) Szata Roślinna Polski. 1. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, ss. 383–441.
- Medwecka-Kornaś A. 2006. Present state of mixed forest (*Pino-Quercetum*) in the Ojców National Park (Southern Poland). Polish Bot. Stud. 22: 365–385.
- Medwecka-Kornaś A. 2011. The association *Pino-Quercetum* in the past and present in the forest “Las Wolski” (Kraków, Southern Poland). In: B. Zemanek (ed.) Geobotanist and Taxonomist. A volume dedicated to Professor Adam Zajac on the 70th anniversary of his birth. Institute of Botany, Jagiellonian University, Cracow, ss. 91–115.
- Medwecka-Kornaś A., Gawroński S. 1990. The dieback of fir *Abies alba* Mill. and changes in the *Pino-Quercetum* stands in the Ojców National Park (Southern Poland). Vegetatio 87: 175–186.
- Medwecka-Kornaś A., Gawroński S. 1991. Acidophilous Mied forests in the Ojców National Park: thirty years pressure of air pollution. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 106: 174–207.
- Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zajac A., Zajac M. 2002. Flowering plants and pteridophytes of Poland. A checklist. Biodiversity of Poland. Vol. 1. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.
- Mitka J. 1987. The effect of mineral fertilization on quantitative ratios in the herb layer of the mixed oak-pine forest (*Pino-Quercetum*) in the Niepołomice Forest Area. Acta Agr. et Silv., Ser. Silv. 26: 75–85.
- Mitka J. 1993. Eutrofizacja siedliska leśnego. I. Zmiany poziomu organicznego i mineralno-próchniczego. Sylwan 137: 59–71.
- Mitka J. 1995. Długoterminowe zmiany roślinności boru mieszanego (*Pino-Quercetum*) w Puszczy Niepołomickiej W: Szata roślinna Parków Narodowych i Rezerwatów Polski Południowej. Przewodnik Sesji Terenowych 50 Zjazdu Towarzystwa Botanicznego. Polish Botanical Studies, Polish Academy of Science 12, ss. 54–58.
- Mitka J., Szczepanek K., Zemanek B. 1987. Changes in the herb layer biomass of the mixed oak-pine forest (*Pino-Quercetum*) in the Niepołomice Forest Area effected by mineral fertilization with NPK and dolomite. Acta Agr. et Silv., Ser. Silv. 26: 61–74.
- Mitka J., Zemanek B. 1986. Wpływ nawożenia mineralnego na runo boru mieszanego (*Pino-Quercetum*) w Puszczy Niepołomickiej. Sylwan 130: 49–58.

- Myczkowski S. 1981. Lasy grądowe Puszczy Niepołomickiej. W: A. S. Kleczkowski (red.) Studia Ośrodka Dokument. Fizjogr. Polskiej Akademii Nauk 9: 117–130.
- Rakowska R. 2017. Długoterminowa dynamika zmian frekwencji gatunków runa boru świeżego *Vaccinio myrtilli-Pinetum* w południowej części Puszczy Niepołomickiej. Praca magisterska. Instytut Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Smólski S. 1981. Zarys przeszłości Puszczy Niepołomickiej. W: A. S. Kleczkowski (red.) Studia Ośrodka Dokument. Fizjogr. Polskiej Akademii Nauk 9: 9–24.
- Solon J. 2007. Przemiany zbiorowisk leśnych Kampinoskiego Parku Narodowego w ciągu 80 lat. W: J. M. Matuszkiewicz (red.) Geobotaniczne rozpoznanie tendencji rozwojowych zbiorowisk leśnych w wybranych regionach Polski. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyńskiego, Polska Akademia Nauk, Warszawa, Monografie 8: 328–339.
- Stachurska A. 1995. Degradacja zbiorowisk boru mieszanego *Pino-Quercetum* na obszarze progu Pogórza Wielickiego. W: L. Kaszowski (red.) Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego progu Karpat pomiędzy Rabą a Uswicą. Instytut Geografii UJ, Kraków, ss. 309–320.
- Stachurska A. 1998. Zbiorowiska leśne północno-wschodniej części Pogórza Wielickiego (Zachodnie Karpaty). Zesz. Nauk. Uniw. Jagiell., Prace Bot. 30: 1–78.
- Suliński J. 1981. Zarys klimatu, rzeźby terenu i stosunki wodne w Puszczy Niepołomickiej. W: A. S. Kleczkowski (red.) Studia Ośrodka Dokument. Fizjogr. Polskiej Akademii Nauk 9: 25–70.
- Tokarska-Guzik B., Dajdok Z., Zając M., Zając A., Urbisz A., Danielewicz W., Hołdyński Cz. 2012. Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Weiner J., Fredro-Boniecki S., Reed D., Maclean A., Strong M. 1997. Niepołomice Forest – a GIS analysis of the ecosystem response to industrial pollution. Environment and Pollution 98: 381–388.

Summary

Long-term studies on herb layer structure (species frequency) of the mixed oak-pine *Pino-Quercetum* forests in southern part of the Niepołomice Forest (Fig. 1) were carried out (Mitka, Zemanek 1986; Mitka 1987, 1995; Mitka et al. 1987). They were a part of the multidisciplinary project “Forest ecosystems in industrial regions” by Grodziński et al. (1984). Investigations on the herb layer were dealt with the problem of the impact of the forest NPK mineral fertilization. In this paper the results from two permanent control plots of the experiment, located in the forest division nos. 247 (Kłaj) and 268 (Stanisławice) and obtained in 1980–1995, were used. At that time a continuous and synchronous eutrophication of the forest site was observed. Namely, a steady growth of mesotrophic species: *Festuca gigantea*, *Milium effusum* and *Poa trivialis*, was noted. Alongside, a decrease of locally characteristic species of the mixed oak-pine forests: *Luzula pilosa*, *Pteridium aquilinum*, *Stellaria longifolia*, *Trientalis europaea* and

Veronica officinalis, was found. In 2016 the investigations on the plant species frequency were carried out in the forest division no. 268 based on 20 plots located in representative sites of the oak-pine forests. For the displaying the results, mean values of the plant species frequency in 1980 – 1995 were calculated, and all of 20 measurements made in 2016 were shown (Fig. 2). The aim of the study was to give an answer to the question of the stability of the mixed oak-pine forests in the area investigated. Specifically, was the high percentage of mesotrophic species in the poor forest site, noted at the end of the previous century, a permanent change? In effect of the non-parametric statistical analyses four type of species responses were found. The first type includes species with the highest frequency noted in the last decade of the previous century: *Dryopteris spinulosa*, *Oxalis acetosella*, *Pinus sylvestris* and *Rubus plicatus* (Fig. 2a). The second consists of steadily increasing species: *Frangula alnus*, *Pleurozium schreberi*, *Sorbus aucuparia*, *Quercus pedunculata* and *Vaccinium vitis-idaea* (Fig. 2b). A strongly decreasing species were: *Festuca gigantea*, *Impatiens parviflora*, *Milium effusum*, *Poa trivialis*, *Senecio fuchsii*, *Rubus hirtus* and *R. idaeus* (Fig. 2c). A weakly decreasing were: *Galeopsis bifida*, *Galium aparine*, *Luzula pilosa*, *Moehringia trinervia*, *Pteridium aquilinum*, *Rumex acetosella*, *Stellaria longifolia*, *Trientalis europaea* and *Veronica officinalis* (Fig. 2d). A specific group contains newcomers, invasive species: *Padus serotina* and *Quercus rubra* (Tokarska-Guzik et al. 2012). Two other, *Convallaria majalis* and *Maianthemum bifolium*, are artifacts coming from the method of the study used. The obtained results showed on the relative stability of the mixed oak-pine forests in the area investigated. The transitional dominance of the mesotrophic species was probably a result of the climatic fluctuations. At that time snowy winters damaged tree crowns and in the effect an increased influx of energy to the forest floor enhanced the soil litter decomposition and availability of nitrogen. The decreasing trend of the species characteristic of the oak-pine forests was, however, maintained. At the same time shrubby species: *Frangula alnus* and *Sorbus aucuparia*, increased, accompanied by *Oxalis acetosella* and *Rubus plicatus*. *Maianthemum bifolium* gained a status of the locally characteristic species. Invasive *Quercus rubra*, and especially *Padus serotina*, pose a serious threat to the further persistence of the forest community. An open question is the stability of the present herb-layer species structure in the mixed oak-pine forests in the Niepołomice Forest area.